

ANALIZADO

# HOMEOSTASIS ACIDO BASICA EN PREPARTO Y POSTPARTO

\*José Guillermo Velásquez Penagos

## GENERALIDADES

El equilibrio ácido-base es una fascinante área de la ciencia que debería atraer a muchas más personas. La vida en este planeta existe porque los ácidos y las bases se mantienen en equilibrio en forma continua y sin este equilibrio no habría vida (Miles 1992).

(X) La Homeokinesis u homeostasis ácido-base en los bovinos es un elemento esencial que interviene al metabolismo y al desempeño general del semoviente. Se define como la tendencia al equilibrio o estabilidad orgánica en la conservación de las constantes fisiológicas.

(Y) Cuando nos referimos a regulación del equilibrio ácido-base realmente se está hablando de la regulación de la concentración de hidrogeniones en los líquidos de la concentración de hidrogeniones en los líquidos corporales y está representada por el pH.

$$pH = \frac{1}{[H^+]} \quad \text{ó} \quad pH = -\text{Log } [H^+]$$

El termino pH tiene su origen en la palabra francesa Puissance que quiere decir poder. Literalmente se refiere al poder del ión hidrógeno (protón) en solución y data desde 1909.

## HOMEOSTASIS ACIDO BASICA = MECANISMOS AMORTIGUADORES

(X) El equilibrio ácido base esta determinado por el pH sanguíneo y su alteración puede producir una acidosis o una alcalosis. Para mantener la homeostasis base se utilizan tres mecanismos: el mecanismo físico químico - amortiguadores del organismo

M.V. M. Sc. Investigador Programa de Ecofisiología Animal. CORPOICA, Regional 8 Villavicencio- Meta.

(proteínas, fosfato, bicarbonato), el mecanismo fisiológico del sistema respiratorio y el mecanismo fisiológico del sistema - renal.

Los componentes de la ecuación de Henderson Hasselbalch expresan el componente metabólico ( $\text{HCO}_3^-$ ) que es regulado por el sistema renal y el componente respiratorio  $\text{CO}_2$  regulado por el sistema respiratorio.

$$\text{pH} = 6.1 + \text{Log} \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\text{pCO}_2 \times s}$$

Si el pH del ambiente celular no se controla la actividad enzimática se inactiva y ocurriría la muerte celular, debido a que el protón es tan pequeño (radio = 10 cm), este puede viajar libremente en el cuerpo y puede entrar a las moléculas complejas, reaccionando con las partes funcionales ácidas y bases de las moléculas.

## **MECANISMO FISICOQUIMICO**

### **PROTEINAS**

Las proteínas sirven de amortiguadores porque tienen grupos que pueden tomar o dar  $\text{H}^+$  como los grupos carboxilo en el C terminal, los amino en el N terminal, los grupos carboxilo de cadena lateral de los ácidos glutámico y aspártico, los grupos amino de la cadena lateral de la lisina. La importancia de la hemoglobina en este grupo radica en su alta concentración del eritrocito y su altísimo contenido de histidina. Este amino ácido tiene una cadena única de lado llamada imidazole, la cual puede atraer a los protones y sacarlos de los fluidos corporales o puede donar protones a los fluidos corporales en el intento de mantener el pH cerca a la neutralidad. La albumina y la globulina son proteínas del plasma que contribuyen a la amortiguación de la sangre en forma significativa.

### **EL BICARBONATO**

Es el amortiguador más importante compuesto por un ácido ( $\text{H}^+$ ) y su base conjugada ( $\text{HCO}_3^-$ ), contiene aproximadamente el 95% del promedio total de  $\text{CO}_2$ . El  $\text{CO}_2$  es un ácido volátil y su concentración puede ser disminuida por medio del incremento de la tasa respiratoria del animal. El  $\text{HCO}_3^-$  también es regulada por el metabolismo del riñón.

## EL FOSFATO

En el fosfato los elementos fundamentales son  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Cuando se añade un ácido fuerte a la mezcla de estas dos sustancias tiene lugar la siguiente reacción:



La respuesta observada es que el ácido clorhídrico desaparece, formándose fosfato monosódico. Este fosfato monosódico es un ácido débil que solo produce pequeñas variaciones del pH.

Si se adiciona una base fuerte ( $\text{NaOH}$ ), la reacción es:



El hidróxido de sodio se descompone para formar agua y fosfato disódico. Es decir una base fuerte es sustituida por una base débil, modificando discretamente el pH hacia la alcalosis.

El tampón fosfato es el amortiguador más importante en la orina, los protones escretados son principalmente de la especie  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .

(X)

## MECANISMO FISIOLÓGICO DEL SISTEMA RESPIRATORIO

Un incremento de la concentración de anhídrido carbónico en los fluidos corporales desplaza el pH hacia la acidosis, mientras que una disminución del mismo aumenta el pH hacia la alcalosis. En consecuencia el sistema respiratorio puede modificar el equilibrio ácido básico regulando la concentración de anhídrido carbónico.

(X)

## MECANISMO FISIOLÓGICO DEL SISTEMA RENAL

Los riñones controlan la concentración del ión hidrógeno en el espacio extracelular eliminando una orina ácida o básica. Los riñones regulan el equilibrio ácido-base por medio de filtración de grandes cantidades de iones bicarbonato, disminuyendo la concentración de base de la sangre. Por otra parte el epitelio tubular secreta hidrogeniones activamente hacia la luz tubular, disminuyendo la concentración ácido, estas dos opciones mantienen la armonía ácido-base.

## **CONCENTRACION BASICA EN EXCESO**

La concentración básica en exceso es la diferencia entre la concentración de base amortiguadora encontrada y la concentración base amortiguadora normal.

## **EQUILIBRIO ELECTROLITICO**

Los electrolitos pueden tener diferentes efectos sobre el metabolismo y la fisiología y por eso pueden afectar el metabolismo y la fisiología y por eso pueden afectar el equilibrio eléctrico y consecuentemente al equilibrio ácido-base y al desempeño del animal.

Los electrolitos corporales estan constituidos por el sodio, calcio, magnesio este último en menor proporción como cationes y por el cloro, bicarbonato, proteínas ácidos orgánicos, sulfatos y fosfatos como aniones. Las proteínas plasmáticas se incluyen en la columna de los aniones, su equivalencia electrolitica esta influenciada por el  $\text{pH}$  y otros factores que en ocasiones pueden actuar como aniones débiles. Los aniones son considerados como acidogénicos y los cationes como alcalogénicos.

Un exceso de elementos ácidos en tiempo de tensión de calcio puede incrementar la concentración de calcio en la sangre.

## **EL SODIO.**

Es el catión principal en el líquido extracelular y forma parte del 90% de los principios básicos del suero, regula el volumen y la osmolaridad plasmática, equilibrio ácido-base, la función nerviosa, muscular y la  $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{ATPasa}$ . La concentración plasmática de sodio es regulada por la aldosterona que actúa sobre los tubulos renales estimulando su absorción. Cualquier alteración de este mecanismo de regulación se traduce en serios desordenes a nivel de los fluidos corporales. En la insuficiencia adrenal la falta de mineralocorticoides genera una incapacidad para reabsorber sodio y excretar potasio. En la falla renal crónica la inhabilidad de retener sodio conlleva a la depleción de este catión en el organismo con la concomitante depleción de agua.

Debido a que la concentración sanguínea de sodio es el factor principal de la osmolaridad del fluido extracelular, un incremento en la concentración de sodio se relaciona con la hiperosmolaridad, en forma análoga la hiposmolaridad no se desarrolla cuando la concentración de sodio es normal; sin embargo la hiperosmolaridad se puede presentar cuando la concentración de sodio es normal y la hiposmolaridad no siempre está presente cuando ocurre hiponatremia.

Para un animal que produce 10Kg. de leche es necesario un aporte de 20 grs. día

de sodio y para 30 kg. de leche 40 gr. de sodio, efecto predecible si tenemos en cuenta que para la producción de 20 litros de leche se pierden 8-10 gr. de sodio.

### **EL POTASIO.**

Es el principal catión en el líquido intracelular con una concentración de 25 veces mayor que el plasma, cumple papel importante en la regulación de la presión osmótica, balance hídrico, balance ácido-base, conducción de impulsos nerviosos, contracción muscular, transporte de oxígeno y CO<sub>2</sub>, se encuentra regulada por la aldosterona.

Los efectos tóxicos de la hipercalemia se presentan cuando este aumento es a nivel del fluido extracelular. La hipercalemia es comunmente el resultado de una acidosis provocada por el paso de potasio del fluido intracelular al fluido extracelular, de igual manera puede ocurrir por insuficiencia renal aguda en la fase anúrica u oligúrica. Las deficiencias severas de potasio en vacas lactantes producen disminución en el peso corporal, disminución en la producción de leche, pica o malacia, pérdida de brillo en el pelo, disminución de la elasticidad de la piel, disminución en el potasio plasmático y de la leche y un alto hematocrito.

La deposición de potasio por kg. de peso vivo en la madre durante la gestación es dependiente del tamaño del feto y de su propia concentración. La concentración en el feto es aproximadamente 2 gr. por kg. El contenido del potasio del fluido amniótico es generalmente alto mayor a 2 gr. por kg. El contenido de potasio en la leche de varias especies fluctúa entre 1.000 y 2.000mg. por litro, reportes para bovinos indican 1.750 mg. por kg. de leche.

### **EL CLORO.**

Es el mayor anión del fluido extracelular abunda en las células y se encuentra en pequeñas cantidades en el líquido extracelular. En la secreción gástrica se encuentra como ácido clorhídrico y sales. Su principal sitio de almacenamiento es la piel, tiene como funciones el mantenimiento del balance ácido-base, regulación osmótica, transporte de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. La hipocloremia y la hipocalcemia están asociadas con la alcalosis metabólica.

Excesivos niveles de cloro, sodio y potasio pueden contribuir a una condición acidótica en el ganado de leche.

### **EL CALCIO.**

El equilibrio intracelular de este catión cuya concentración en el interior de las células es muy pobre, comparada con las altas concentraciones de cationes y

aniones, se logra merced al paso difusional por los canales propios llamados canales lentos. Se conocen hoy que existen dos tipos de canales de calcio en las células del músculo cardíaco y vascular, los de tipo lento o de alto umbral y los de tipo rápido o de bajo umbral.

Las necesidades de calcio se incrementan de dos a tres veces en la lactación y disminuyen con el transcurso de la edad. En la leche se eliminan de 10 a 40 gr. de calcio diariamente dependiendo de la cantidad de leche producida.

### **BRECHA ANIONICA O ANION GAP.**

Representa la concentración plasmática de un grupo de aniones no titulables (proteínas, sulfatos, fosfatos y ácidos orgánicos). El anion Gap se calcula por la diferencia existente entre el catión más importante (sodio) y la concentración de los aniones medibles (cloro + bicarbonato). Indican aproximadamente la concentración de los llamados aniones no determinables, principalmente de las proteínas cargadas negativamente.

Algunos investigadores incluyen en el cálculo el catión potasio quedando la fórmula así:

$$\text{ANION GAP} = [\text{sodio} + \text{potasio}] - [\text{cloro} + \text{bicarbonato}]$$

Los valores normales del ANION GAP los reportan en un rango de 10 a 20 mEq/l.

### **VALORES NORMALES**

En la tabla 1,1a se muestran algunos reportes sobre valores de los componentes de la ecuación de Henderson Hasselbalch. Gustin y col. 1988, muestran los valores con base en ecuaciones alométricas:

$$p\text{CO}_2 \text{ art} = [72.45 \text{ mmHG} \times \text{peso corporal}]^{-0.11}$$

### **EVALUACION ACIDO BASICO**

Las alteraciones en el equilibrio ácido-básico se clasifican en acidosis o alcalosis metabólica, respiratorias o mixtas de acuerdo al componente de la ecuación de Henderson Hasselbalch que se altere. La clasificación se presenta en la Tab. 2.3. Para la clasificación exacta de una alteración ácido-básica, además de la determinación

del pH sanguíneo y de los componentes de la ecuación de Henderson Hasselbalch se requiere analizar simultáneamente el balance electrolítico (sodio, potasio y cloro), brecha aniónica, exceso de base y CO<sub>2</sub> total.

Existen reportes que indican que la acidosis post natal puede ser causada por el reducido consumo de calostro.

**Tabla 1** Valores de pH, pCO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub> reportados en la literatura

Autor	pH mmHg	pCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> mM/L	LUG
Wilson E. 1985	7.35 7.50		24 30	Ven
Wagner A. 1990	7.38 (0.03)	38 (4)		Ven
Szenci O. 1990	7.377 (0.012)	47.77 (1.14)	26.99 (0.68)	Ven
lekeux 1984		42 (0.75) 42.75 (para animales < 1 año) (0.75) 39.75 (para animales > 1 año) (0.75)		Art
Klein L. 1988	7.46	39.5 (1.5)		Art.
Gallivan 1989	7.40 (0.03)	39.68 (2.55)	24.4 (2.2)	Art
Wagner E. 1990	7.42 (0.03)	38 (3)		Art
Verhoeff 1985	7.476 (0.024)	42.75 (3)	26.7 (terneros) (2.3)	Art
Kaneko 1989	7.35 7.50	35 44	20 30	
Orsini 1989	7.4 (0.08)			
Barzanji 1988	7.44 (0.04)	32.5 (3.2)	22.1 (2.91)	Art
	7.396 (0.034)	37.5 (4.1)	23.5 (3.15)	Ven

**Tabla 1a** Promedios ácido básicos encontrados en los animales experimentales.

Variable	Unidad	Concentración	Lugar
pH		7.48+/-0.03	arteria
		7.39+/-0.03	vena
HCO <sub>3</sub>	mM/1	22.04+/-1.40	arteria
	mM/1	25.42+/-1.26	vena
pCO <sub>2</sub>	mmHg	29.64+/-3.80	arteria
	mmHg	41.62+/-1.38	vena
EB	mM/1	-1	arteria
	mM/1	0	vena
TCO <sub>2</sub>	mM/1	22.96+/-1.50	arteria
	mM/1	26.71+/-1.25	vena
anion GAP	mEq/1	11.43+/-2.50	arteria
	mEq/1	8.04+/-3.37	vena

**VELASQUEZ 1992**

**Tabla 2**

Clasificación de las alteraciones ácido-base

$\text{pH} = \text{pk} + \text{Log} \frac{(\text{HCO}_3)}{\text{pCO}_2 \times S}$			
ACTIVIDAD		MECANISMO COMPENSAC.	FACTORES ETIOLOGICOS COMUNES
	Efecto - factor 1rio		
ACIDOSIS METABOLICA	< (HCO <sub>3</sub> )	< pCO <sub>2</sub>	ganancia-ácido fuerte- diabetes, uremia, acidosis lática,  pérdida-bicarbonato- diarrea, enfermedad renal tubular.
ALACALOSIS METABOLICA	> (HCO <sub>3</sub> )	> pCO <sub>2</sub>	ganancia base fuerte pérdida de HCL, < del K.  ganancia-bicarbonato: carga de bicarbonato sodico.
ACIDOSIS RESPIRATORIA	> pCO <sub>2</sub>	> (HCO <sub>3</sub> )	ganancia de pCO <sub>2</sub> : enfermedad del pulmón pared torácica depresión del centro respiratorio.
ALCALOSIS RESPIRATORIA	< pCO <sub>2</sub>	< (HCO <sub>3</sub> )	pérdida de pCO <sub>2</sub> : hiperventilación emocional de ciertas drogas, altitud.

**Tabla 3** Tipos de acidosis y alcalosis

**I ACIDOSIS METABOLICA**

- A Tipo Hiperclorémica**
- Diarrea
  - Falla renal (inhabilidad del riñón para eliminar H,R-HCO<sub>3</sub>)
  - inhibidores de la anidrasa carbonica (acetazolamida).
  - Faringitis.
- B Brecha aniónica alta**
- Falla renal (retención de HSO<sub>4</sub>=)
  - Acidosis lactica (Deshidratación, anoxia tisular)
  - Cetosis (oxidación incompleta de grasas).

**II ALCALOSIS METABOLICA**

- A Sensible al cloro**
- Retención de secreciones gástricas
    - a. Enfermedades obstructivas
    - b. Atonia vagal o urémica
  - Diuresis clórica
- B Insensible al cloro**
- Aumento en mineralocorticoides
  - Deficiencia en potasio
  - Transfusión masiva de sangre

**III ACIDOSIS RESPIRATORIA**

- A Depresión del SNC.**
- B Alteraciones neuromusculares**
- C Alteración en la inflamación pulmonar**
- Efusión Pleural
  - Hernia diafragmática
  - Enfer. pulmonar obstructiva

Continuación **Tabla 3**

- D Alteración en el intercambio gaseoso
  - Infiltración pulmonar
  - Edema pulmonar
- E Alteración circulatoria
  - Embolismo pulmonar masivo
  - Disminución en el gasto cardíaco

IV **ALCALOSIS RESPIRATORIA**

- A Ansiedad o dolor
- B Exitación del sistema nervioso central
- C Fiebre o choque de calor
- D Hipoxia
  - Anemia
  - Falla cardíaca congestiva
  - Fibrosis pulmonar
  - Embolismo pulmonar moderado
- E Choque séptico agudo
- F Encefalopatía hepática

## **ADAPTACION ACIDO BASICA Y ELECTROLITICA A LA GESTACION, PRODUCCION Y LACTANCIA.**

Canfiel y Butier 1991 y Swanson 1989 reportan que el balance energético negativo se observa en los bovinos productores de leche en los estados de mayor producción láctea. Lo que resulta generalmente en un estado de cetosis subclínica indicada por un descenso en el pH.

Un efecto a considerar es el proceso de secado cuando este es drástico especialmente en animales con condiciones corporales bajas que pueden conllevar a una cetosis tipo alimenticio. Acción que provoca un descenso en el pH.

Hasta el momento son muy pocos los estudios que en el campo médico veterinario se han realizado sobre el estado ácido-básico normal del bovino y sobre la homeostasis ácido-básica relacionada con la gestación, producción y número de lactancia.

Los parámetros comprometidos en la homeostasis ácido-básica son el pH sanguíneo, la función respiratoria indicada por la brecha aniónica y el estado metabólico caracterizado por un grupo aniónica y el estado metabólico caracterizado por un grupo de índices de los cuales los más importantes son: La concentración sanguínea de bicarbonato, la concentración básica amortiguadora y la concentración básica en exceso.

### **ESTUDIO NACIONAL**

A nivel nacional se realizó el primer estudio sobre Homeostasis ácido básica, esta investigación se desarrolló en la Sabana de Bogotá en 1992 con el objetivo de determinar en un sistema especializado en producción de leche (Holstein Friesian) el comportamiento de la función ácido básica en respuesta a diferentes estados fisiológicos. Los resultados se muestran a continuación

### **Adaptación Acido Básico y Electrolítica a la Gestación y Producción láctea**

En la Tabla 4 se presentan los promedios con su desviación estándar, de los componentes de la ecuación de Henderson Hassel-balch (pH,  $\text{HCO}_3$  y  $\text{pCO}_2$ ) y en la Figura 1 se grafican estos valores en relación con la producción de leche y los estados fisiológicos, donde el estado fisiológico uno representa 45 días anteparto, el segundo 7 días ante parto, el tercero 7 días postparto, el cuarto 60 días postparto, el quinto 120 días postparto (gestación lactancia), el sexto 150 días postparto y el séptimo 180 días postparto. El pH no es afectado por la gestación, pero disminuye significativamente al aumentar los días en producción, observándose el valor mínimo a los 60 días de lactancia, estado fisiológico 4, valor que coincide con el pico

de producción. A partir de este punto, el pH permanece mas o menos constante, no es afectado por los días en producción e inicio de la gestación, estados fisiológicos 5 y 6. El bicarbonato y la pCO<sub>2</sub> siguen el mismo comportamiento del pH, con valores mínimos a los 7 y 60 días de producción, coincidiendo con el pico de la misma. En lo que hace relación al bicarbonato, los valores obtenidos en estos estados fisiológicos (3 y 4) difieren estadísticamente de los demás (P<0.01). Los promedios encontrados para el pCO<sub>2</sub>, no difieren estadísticamente sino con el valor obtenido en el estado fisiológico 7. Se encontró una correlación positiva del pH con el bicarbonato (r=0.95) y con la pCO<sub>2</sub> (r=0.76), igualmente el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y pCO<sub>2</sub> estan altamente correlacionados (r=0.81).

En la figura 2 (Tabla 5) se enseña el comportamiento promedio del anión GAP "Brecha aniónica" y producción de leche por estado fisiológico. Los máximos promedios para el anión GAP y producción de leche se obtuvieron en el 4 estado fisiológico (15.32 mEq/l), 22.36/l), los resultados apuntan hacia un comportamiento similar altamente significativo entre estas dos variables r=0.51. Se contempla diferencia altamente significativa entre los estados fisiológicos, con mayor repercusión en el estado 4.

La determinación del anión GAP se realizó de acuerdo con el reporte de Orsini 1989 [(sodio + potasio) - (cloro + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)], condensado en la figura y la tabla, donde se observa un efecto contrario del Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> al determinado por la curva marcada por el anión GAP (Fig 2).

Las correlaciones entre el anión GAP y sodio r=-0.43, potasio r=-0.49, cloro r=-0.88 y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> r=-0.55 respectivamente (tabla 6), respuesta contradictoria aparente si tenemos en cuenta que estos iones son derivados de la formula anteriormente citada. La explicación que destaca este tipo de comportamiento es la provocada por el ión cloro y bicarbonato que establecen la correlación más negativa, como se explica a continuación: GAP = [(sodio + potasio) - (cloro + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)].

**Interpretación de los resultados del balance ácido básico en relación a la gestación y producción láctea.** Al analizar los resultados encontrados en los estados fisiológicos 3 y 4 (30 y 60 días de producción) se halló una disminución en los tres componentes de la ecuación de Henderson Hassel-balch (pH, pCO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), lo que indica una acidosis metabólica compensada en estos estados de mayor producción láctea. La alteración ácido básica encontrada puede deberse a la pérdida de una base o a la adición de ácidos al organismo. Para hacer un diagnóstico diferencial se recurre a la brecha aniónica, cuyos componentes para su determinación fueron: sodio, bicarbonato, potasio y cloro. Indicando una acidosis metabólica de Brecha aniónica alta, la cual es atribuida a la máxima movilización de las reservas de ácido grasos del cuerpo, a la alta lipólisis y al nivel elevado de cuerpos cetónicos en los estados de lactación lo cual provoca un balance energético negativo, resultando finalmente en una disminución del pH.

**Tabla 4** Promedio para pH, presión de dióxido de carbono, bicarbonato arterial y producción de leche por estado fisiológico.

Est. Fis.	pHart **	D.S	pCO <sub>2</sub> art. *mM/l	D.S	HCO <sub>3</sub> *mM/l	D.S	leche **litros	D.S
1 abc	7.487	.039	ab 29.63	4.7	ab 22.84	1.6		
2 a	7.495	.038	ab 30.75	4.1	ab 23.41	1.4		
3 bc	7.469	.026	b 28.98	1.4	c 22.28	1.4	a 21.01	4.1
4 c	7.467	.020	b 28.81	3.5	c 22.20	1.1	a 22.36	4.0
5 abc	7.483	.030	ab 29.71	2.7	ab 22.56	1.3	b 17.94	4.0
6 abc	7.481	.031	ab 29.21	3.8	ab 21.92	1.5	b 17.43	3.3
7 ab	7.490	.036	a 31.11	3.8	ab 23.37	1.2	b 15.28	3.4

n = 24 "número de muestras por estado fisiológico".

La significancia esta determinada por \* para  $P < 0.05$  y \*\* para  $P < 0.01$ . Los datos de cada variable con letra iguales no difieren en forma significativa.

D.S = desviación estándar.

**Tabla 5** Promedios para el anión GAP y la producción de leche por estado fisiológico.

Estado Fis.	GAP **mEq/l	D.S	Prod. Leche **litros	D.S
1	ef 9.35	1.07		
2	f 8.95	0.55		
3	b 14.46	0.87	a 21.01	4.06
4	a 15.32	0.49	a 22.36	3.99
5	c 11.99	1.05	b 17.94	3.98
6	d 10.27	0.52	b 17.43	3.26
7	e 9.67	0.44	b 15.28	3.37

n = 24 "número de muestras por estado".

La significancia esta determinada por \* para  $P < 0.05$  y \*\* para  $P < 0.01$ . Los datos de cada variable con letras iguales no difieren en forma significativa.

D.S = desviación standar.

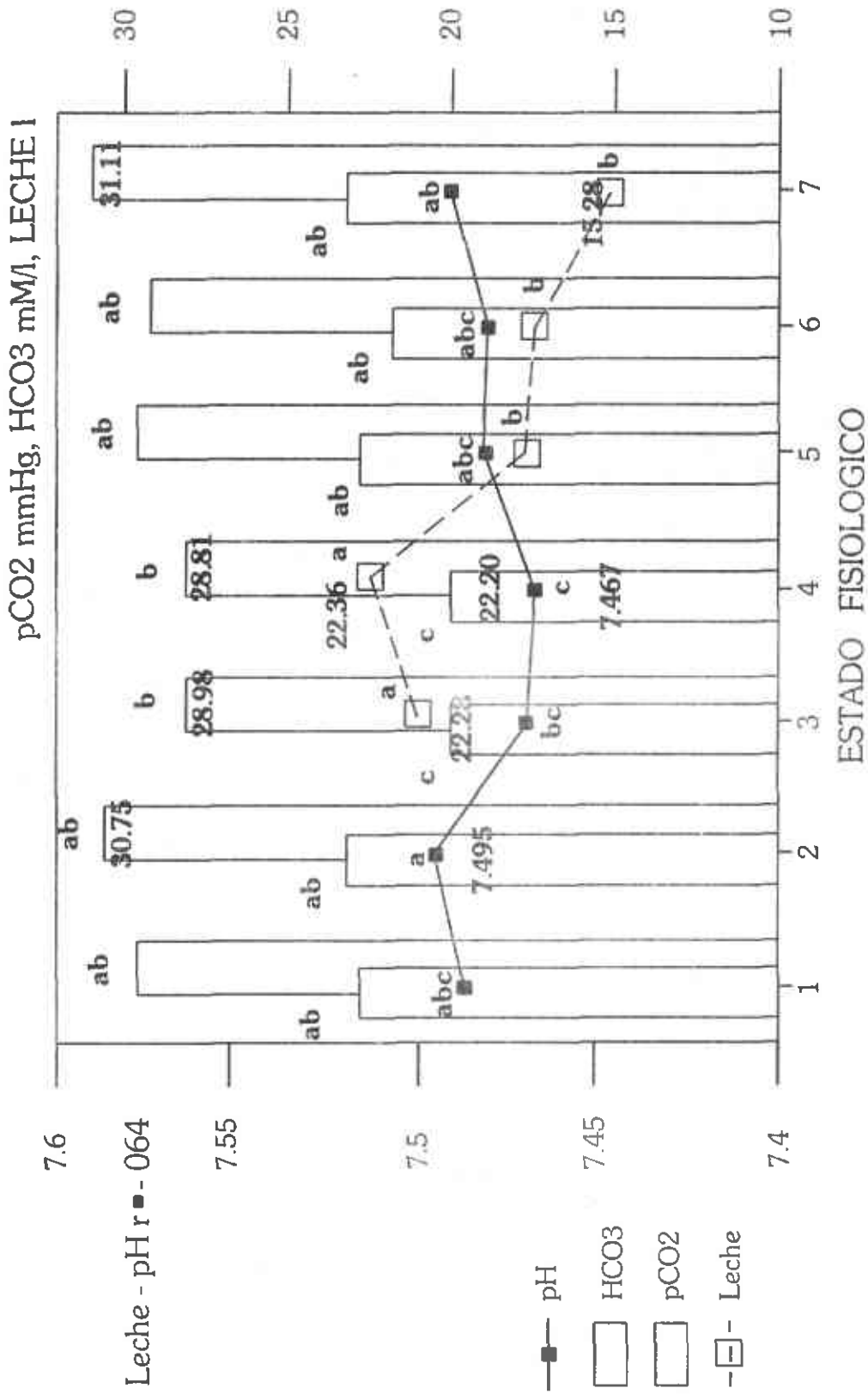
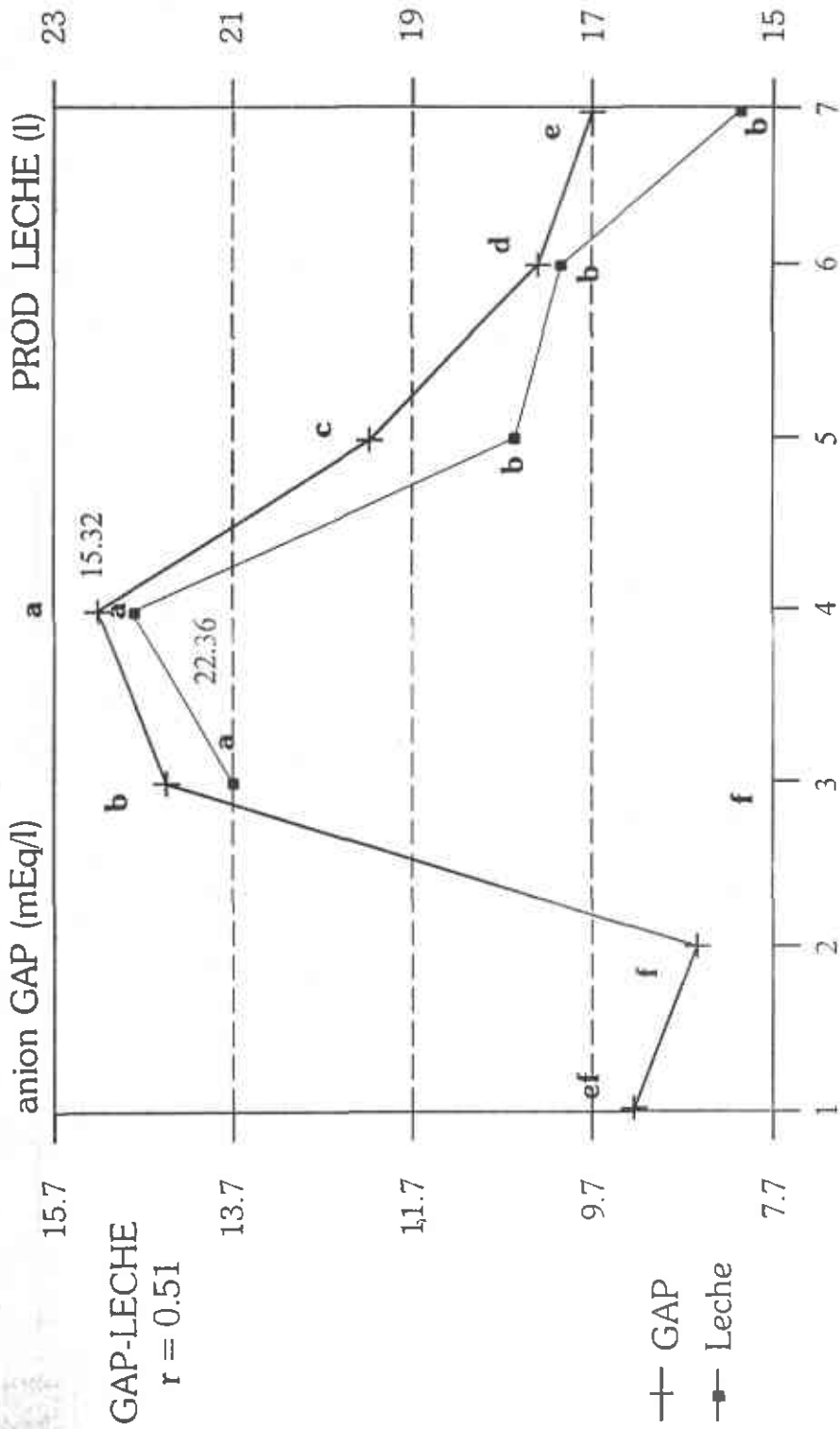


FIGURA 1 Efecto de la gestación (1,2) y la producción (3, 4, 5, 6, 7) sobre los componentes de la ecuación de Henderson-Hasselbalch. Valores promedio



ESTADO FISIOLÓGICO

FIGURA 2 Relación entre el estado fisiológico, anion GAP arterial y producción de leche. valores promedios.

**Tabla 6** Selección de coeficientes de correlación Pearson con significancias para los valores de equilibrio ácido básico y gases sanguíneos.

variable E A-B	variable correlacionada	coef. correlación	P
pH art	pCO2 art mmHg	0.76	**
	HCO3 art. mM/1	0.95	**
HCO3 mM/1	pCO2 art mmHg	0.81	**
GAP art.mEq/1	sodio mEq/1	-0.43	**
	potasio mEq/1	-0.49	**
	Cloro mEq/1	-0.88	**
	HCO3 art mM/1	-0.55	**
pO2 mmHg	Hb g/100ml	0.88	**
	== A-V pO2 mmHg	0.97	**
	Hematocrito %	0.59	**

n = 163 determinaciones      == A-V = diferencia arteriovenosa.  
 E A-B = equilibrio ácido-básico.    La significancia esta determinada por \*  
 para P<0.05 y \*\* P<0.01.

## Anexo 1

Relación de las variables que intervienen en la homeostasia ácido base. promedio general, valor maximo, mínimo y desviación estandar

variable	promedio	valor maximo	valor mínimo	desviación estandar
Electrolitos y minerales.				
Calcio mg/100ml	10.55	15.20	6.41	1.24
Cloro mEq/l	115.73	123.50	106.53	4.81
Fosforo mg/100ml	6.34	7.15	4.99	0.52
Potasio mEq/l	6.10	7.85	4.01	0.70
Sodio mEq/l	143.13	145.72	140.07	1.81
Calcio/fosforo	1.67	2.22	0.99	0.15
Química sanguínea.				
Hematocrito %	30.54	37.00	24.00	1.25
Hemoglobina g/100ml	9.57	12.50	7.60	1.35
Prot. plasmaticas	7.09	8.50	4.40	0.74
Gases sanguíneos y equilibrio ácido-base.				
pCO2 art mmHg	29.64	35.00	23.00	3.80
pCO2 ven mmHg	41.62	46.00	39.00	1.38
pO2 art mmHg	84.10	106.00	77.00	6.70

Continuación **Anexo 1**

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estandar
pO2 ven mmHg	24.11	28.00	20.00	1.57
TCO2 art mM/1	22.96	25.53	19.90	1.50
TCO2 ven mM/1	26.71	29.78	24.33	1.25
HCO3 art mM/1	22.04	25.49	19.19	1.40
HCO3 ven mM/1	25.42	28.48	23.09	1.26
pH art.	7.48	7.56	7.44	0.03
pH ven.	7.39	7.46	7.35	0.03
=/= cia art-ven pH	0.088	0.20	0.04	0.03
GAP art mEq/1	11.43	15.98	7.75	2.50
GAP ven mEq/1	8.04	15.02	0.89	3.37
Oxígeno/Hb art.	8.85	10.26	7.23	0.05
Oxígeno/Hb ven.	2.56	3.42	1.92	0.35
=/= cia ven-art. pCO2	11.98	20.00	5.00	3.72
=/= cia art-ven. pCO2	59.99	85.00	53.00	6.67
Producción				
Producción leche día en litros	18.81	30.20	9.24	4.49

n= 168 muestras para cada variable.

Velásquez 1992

## BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, M. Medicina de la producción del ganado de leche: Síndrome del parto. Curso Nacional sobre Medicina de la Producción de Ganado de Leche, ICA-CEISA, pg 141, 1990.

BARZANJI, A. A. H. and DANIEL, R. C. W. The effects of hypocalcemia on blood gas and acid-base parameters in ruminants. *British Veterinary Journal*, vol 144, pag 93. 1988.

BAUMAN, D. E. ; CURRIE, B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactación. A review of mechanisms involving homeostasis. *Journal Dairy Science*, vol 63 (9), pg 1514. 1980.

BLOOD, D. C. and HENDERSON, J. A. *Medicina Veterinaria*. Quinta edición, Editorial Interamericana. México, pg 40, 219, 900 y 987. 1987.

BODY, J. W. Relationship between acid-base balance serum composition and colostrum absorption in newborn calves. *British Veterinary Journal*, vol 145 No 3 1989.

CANFIELD, R. W.; BUTLER, W. R.; Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *Journal Animal Science*. vol. 69 pg 740. 1991.

COLLIER, R. J. ; McNAMARA J. P. ; WALLACE, C. R. ; DEHOFF, M. H. A review of endocrine regulation of metabolism during lactation. *Journal of Animal Science*. vol 59 (2), pg 498. 1984.

DEL PORTILLO, H. Calcio y el aparato cardiovascular. *Revista Colombiana de la Ciencia*. vol 2 (7), pg 499. 1980.

DUANE, B. Review of the pathophysiology of alterations in potassium homeostasis. *Journal América Veterinary of Medicine-Animal* vol 188 (9), pg 1019. 1986.

DUKES, H. H. y SWENSON, J. *Fisiología de los animales domésticos*. Editorial Aguilar, 1981.

FACCINI, R. D. ; PULIDO, M. A. Algunos factores intrínsecos del bovino Holstein que afectan la producción en la sabana de Bogotá. Tesis de grado, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

FAJARDO, H. ; VIAMONTE, M. I. y GRONRO, N. Niveles de sodio, potasio, calcio, fósforo y magnesio en suero de vacas lecheras, *Revista Cubana de Ciencias Veterinarias*. Vol. 20, pgs 275-282. 1989.

GAINES, J. The relationship between nutrition and fertility in dairy herds. *Veterinary Medicine*. pgs 915. 1989.

GALLIVAN, G. J. ; McDONELL, W. N. ; FORREST, J. B. Comparative pulmonary mechanics in the cow. *Research in Veterinary Science*. vol 46, pgs 322. 1989.

GANONG, W. F. Review of medical physiology. Tenth edition Lange Medical Publications, California. pg 628. 1981.

GROSS, D. R. Farmacología y terapeutica veterinaria. Ed. Acribia S. A. vol 1, pg 535. 1988.

GUSTIN, P. ; BAKIMA, M; ART, T. ; LEKEUX, P. ; LOMBA, F. ; VANDEWOESTIJNE, K. P. Pulmonary function values and growth in Belgian white and blue double-musclcd cattle. vol 45 pg 405. 1988.

GUYTON, A. C. Tratado de fisiología médica. Septima edición pgs 149 y stes. 1989.

JAGOS, P. ; BOUDA, J. ; PRIKRYLOVA, J. Dynamics of acid-base changes in the venous blood of cattle in vitro with time. *Veterinary Medicin*. vol 22, pg 257. 1977.

KANEKO, J. J. Clinical biochemistry of domestic animals. Third edition. Academic press. New York. 1989.

KLEIN, L. and FISHER, N. Cardiopulmonary effects of restraint in dorsal recumbency on awake cattle. *American Journal Veterinary Research*, vol 49, pg 1605. 1988.

KROKAVEC, M. ; SIMO, K. ; MARTINKO, A. P. Changes in acid-base equilibrium values of cattle in relation to interval between blood specimen collection and examination under field conditions. *Veterinary Medicine*. vol 32, pgs 145. 1980.

KNUT, H. Cyclic changes in plasma calcium and the calcium homeostatic. Endocrine system of the postparturient dairy cow. *Journal Dairy Science*, vol 69, pg 2072. 1986.

94 LEKEUX, P. ; HAJER, R. ; BREUKINK, J. Effect of somatic growth on pulmonary function values in healthy friesian cattle. *American Journal Veterinary Reserch*. vol 45, pg 2003. 1984.

LENNART, A. subclinical ketosis in dairy cows. *Veterinary Clinics of North American: Food Animal Practice*, vol 4 (2), 1988.

MANDELL, H. N. Gases sanguineos y electrolitos. *Tribuna Médica*. Tomo LXXIX #2, pgs 7-11. 1989.

MEYER, H. Potassium requirements and potassium supply in domestic animals. *Animal Research and development*, vol 26, pg 6. 1987.

MICHELL, B. Ruminant acidosis. In *Practice* november 1990.

MILES, R; BUTCHER, G. Equilibrio ácido base. *Industria avícola* Febrero 1993.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrien requirements of dairy cattle. National Academy press. Washington. 1988.

O'CONNOR, A. M. ; BEEDE, D. K. ; WILCOX, C. J. Lactational responses to dietary magnesium, potassium and sodium during winter in florida. *Journal Dairy Science*, vol 71, pg 971. 1988.

ORSINI, A. Pathophysiology, Diagnosis and treatment of clinical acid-base disorders. *Continuing Education*. Art vol 11 (5), pg 593. 1989.

POULSEN, J. S. D. ; SURYNEK, J. Acid-base status of cattle blood. *Nort veterinary Medical*. vol 29, pg 271. 1977.

REINHARDT, T. A. ; HORST, R. L. ; GOFF, P. Calcium, phosphorus and magnesium homeostasis in ruminants. *Veterinary Clinics of North America; Food Animal Practice*, vol 4 (2), pg 331. 1988.

SMITH, R. W. ; KNIGHT, R. A. ; WALSH, A. Activities of some enzymas of glucose metabolism in bovine lever and kidney cortex at three stages of lactation. *Research in Veterinary Science*, vol 33 pg 287. 1982.

SZENCI, O. ; BESSER, T. Changes in blood gas and acid-base values of bovine venous blood during storage. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. pg 471.

39 THOMAS, H. H. Fuel homeostasis in the ruminant. *Veterinary Clinics of North America; Food Animal Practice*, vol 4 (2) pag 213. 1988.

TUMBLESON, M. E. ; BURKS, M. F. ; WINGFIEL, W. E. Serum protein concentrations as a function of age in female dairy cattle. *Cornell Veterinary*, vol 63. pg 65. 1973.

URBINA, F. G. Evaluación integral de una finca en producción de leche de la sabana de Bogotá 1989. (Resultados sin publicar).

VELASQUEZ, J. G. Homeorresis cardiovascular y ácido básica durante el ciclo productivo en bovinos Holstein Friesian en la sabana de Bogotá.

VERHCEFF, J. ; WIERDA, A. P. ; Van NIEUWSTADT, A. P. ; BUITELAAR, W. J. spontaneous bovine respiratory syncytial virus infections in calves; Arterial blood gas, pH and bicarbonate values. *Veterinary Record*. vol 117, pg 202 1985.

VOROS, K. ; GOETLEL, L. ; LATIMANN, S. ; SCHOLZ, H. Serum electrolytes and parameters of acid-base status of blood and urine in cow with abomasal displacement (consideration of the reflux syndrome). *Animal Research and development*, vol 23, pg 96. 1986.

WAGNER, A. E. ; MUIR, W. W. and GROSPITCH, B. J. Cardiopulmonary effects of position in conscious cattle. *American Veterinary Research*, vol 51, pg 8. 1990.

44 WILSON, E. A. ; GREEN, R. A. Clinical analysis of mixed acid-base disturbances. *Continuing Education*. vol 7 (6) pg 364. 1985.