

Una revisión del metabolismo ácido-base y su relación con la nutrición en aves

Liliana Betancourt¹, Z, M.Sc; Hugo Romero², Z, M.Sc.

¹Facultad de Zootecnia, Universidad de la Salle; ²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia.
A.A. 1226, Medellín, Colombia*
hromero_udea@hotmail.com

(Recibido: 8 agosto, 2001; aceptado: 16 mayo, 2002)

Resumen

Las condiciones ambientales y nutricionales a que son sometidas las estirpes modernas de aves, generan desbalances metabólicos que alteran el equilibrio ácido-base. El mantenimiento de este equilibrio implica cambios y ajustes metabólicos que pueden afectar la producción eficiente de productos avícolas (carne y huevo). Muchas de las soluciones para controlar estos desórdenes se basan en el conocimiento de los factores bioquímicos y fisiológicos involucrados en estos. El contenido de la dieta, particularmente aminoácidos y electrolitos, debe ser tenido en cuenta para atenuar o prevenir estos desbalances. A la luz de algunos resultados de investigación obtenidos por este grupo, se revisó el metabolismo ácido-base y su influencia sobre la nutrición de pollos de engorde y aves de postura, bajo diferentes condiciones ambientales. Entre las consideraciones realizadas, se sugieren cambios en el balance dietario de electrolitos (BDE) de las dietas utilizadas para pollos de engorde criados a elevada altitud, para disminuir la incidencia de síndrome ascítico.

Palabras clave: acidosis, alcalosis, electrolitos, pH.

Conceptos generales

La homeostasis ácido-base se refiere a la tendencia de un animal a mantener constante la concentración intracelular y extracelular de hidrogeniones (H^+). La concentración de este protón (H^+) se expresa en términos de pH, en nanomoles por litro (nm/Lt.). Sin embargo, el balance ácido-base no solo se define por el pH del fluido extracelular, sino que también involucra la evaluación de la presión de dióxido de carbono (pCO_2), la concentración del ión bicarbonato (HCO_3^-) y el exceso o deficiencia de base (8). Tanto el pH como la pCO_2 pueden medirse directamente, mientras que el HCO_3^- y el exceso de base se pueden calcular a partir de la ecuación de Henderson Hasselbach (28)

El pH sanguíneo de las aves y en general de un organismo se conserva en límites muy estrechos. Por

consiguiente, se necesita de un mecanismo regulador muy eficiente debido a que cualquier desviación pequeña alteraría dramáticamente el funcionamiento celular. Para la adición diaria normal de H^+ se deben tener en cuenta 3 fuentes: la dieta, el metabolismo celular y la pérdida de bases en la materia fecal (11).

Los ácidos metabólicos y dietéticos provienen de la oxidación de las proteínas, las cuales se consideran un contribuyente neto de ácidos no volátiles, por consiguiente, dietas ricas en proteínas, como lo son las formuladas para pollos de engorde, son acidogénicas. En general se considera que se producen más o menos 50 mEq. de ácido sulfúrico por cada 100 gramos de proteína metabolizada como producto de la oxidación de metionina y cisteína (30). Esta proporción puede variar según la composición de la dieta; puede estar aumentada si se incluyen

* Dirección para solicitar reimpresos

suplementos comúnmente utilizados en la dieta de las aves en forma de hidroclouros, de los cuales resulta el ácido clorhídrico, o si se incluye harina de pescado o harina de carne (35). Dentro de esta contribución a la producción de ácidos se incluiría también el ácido fosfórico que resulta de la oxidación de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos y las fosfoproteínas.

Además de los ácidos inorgánicos, la oxidación incompleta de carbohidratos, lípidos y proteínas, puede generar ácidos orgánicos que son considerados como productos temporales debido a que en condiciones normales se producen en bajas concentraciones y se metabolizan fácilmente. Pero ciertos desórdenes metabólicos pueden aumentar su producción provocando una alteración del funcionamiento celular. En situaciones de hipoxia tisular (anaerobiosis celular), el catabolismo de carbohidratos genera alta producción de ácido láctico. Esta situación es común en pollos de engorde sometidos a altitud, frío y altas tasas de crecimiento (21). Bajo esta situación, el sistema cardio-pulmonar constituye un sistema de oferta de oxígeno y la masa muscular, un sistema de demanda de oxígeno. Por lo tanto, la selección genética conducida para aumentar la masa muscular y la tasa de crecimiento ha contribuido a agudizar el problema. Lograr un equilibrio entre estos dos sistemas de oferta

y de demanda será una tarea de los genetistas, pero también el nutricionista puede contribuir a contrarrestar los efectos negativos de estos inbalances.

Otros problemas metabólicos, como los estados de diabetes e inanición, pueden incrementar los ácidos orgánicos como los cetoácidos. Estos eventos son de menor importancia en el pollo de engorde bajo condiciones normales de alimentación, pero podrían ser importantes en casos de restricción severa de alimento, situación normal en reproductoras pesadas y en programas de muda forzada.

Finalmente, se encuentra el ácido volátil o anhídrido carbónico (CO_2) que se origina de la oxidación completa de carbohidratos, lípidos y proteínas. El CO_2 es transportado en un 80% por los eritrocitos, en donde reacciona con el agua en presencia de anhidrasa carbónica para rendir ácido carbónico, esta reacción se revierte en los pulmones para ser eliminados CO_2 y agua (véase Figura 1) (28, 35, 37). Este mecanismo de excreción de ácido se puede afectar por condiciones que incrementen la tasa respiratoria como el jadeo que ocurre durante el estrés calórico, conduciendo a un estado de alcalosis respiratoria (23), o por problemas respiratorios que afecten la eficiencia del intercambio gaseoso, causando acidosis respiratoria.

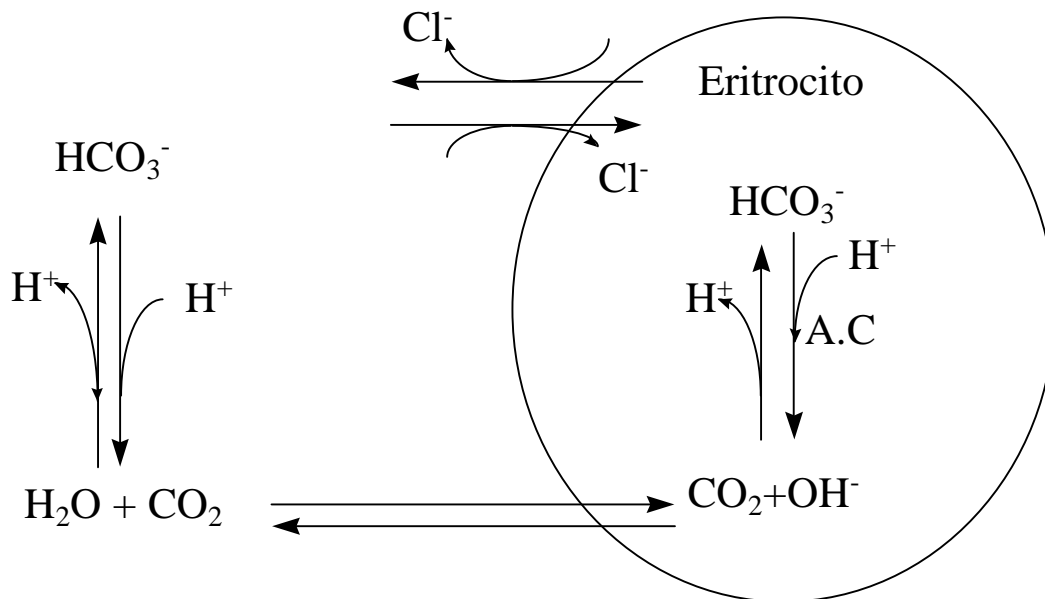


Figura 1. Mecanismo de transporte y eliminación del CO_2 . Este sistema transfiere ácido desde el plasma al interior de la célula. Debido a que la Anhidrasa Carbónica (AC) está presente únicamente en la célula, en el fluido extracelular, la interconversión sin catalizador de CO_2 y HCO_3^- determina la tasa de transferencia de ácido (26).

La pérdida de bases en la materia fecal sucede en forma de bicarbonato y otras bases equivalentes. En humanos se ha demostrado que por cada base perdida se retiene un ión hidrógeno en el líquido extracelular (11). Esta pérdida de bases y por tanto la carga sistémica de ácido, puede aumentar en estados diarreicos del animal comunes en cuadros de coccidiosis, micotoxicosis o por la presencia de factores antinutricionales que generan tránsito rápido.

Para amortiguar estas cargas de ácido, el ave dispone de diferentes mecanismos (8, 11, 12, 37), que se mencionan de acuerdo al orden de respuesta:

1. Amortiguadores químicos en el fluido extracelular ($\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$, principalmente).
2. Amortiguadores químicos en el fluido intracelular (hemoglobina, proteínas, fosfato).
3. Regulación respiratoria (cambios en la pCO_2).
4. Regulación Renal (secreción renal de ácido, resorción y síntesis de HCO_3^-).

Sin embargo, si el animal necesita dar prioridad a estos mecanismos de control, sus vías metabólicas destinadas a la producción no pueden llevarse a cabo con la misma eficiencia; más aún, cuando estos mecanismos son insuficientes para mantener la homeostasis ácido-base se presentarán disturbios, los cuales se clasifican en primarios y mixtos (2). Dentro de los disturbios ácido-base primarios, se distinguen (2, 8):

1. Acidosis metabólica, proceso que causa acumulación de ácidos no volátiles, caracterizada por una disminución del pH, el HCO_3^- , y una disminución compensatoria de la pCO_2 . Puede ser causada por diarreas, acidosis láctica, cetoacidosis, insuficiencia renal o consumo de sales y dietas ácido génicas.
2. Alcalosis metabólica, proceso que causa una acumulación de álcali (comúnmente HCO_3^-), se caracteriza por un alto valor del pH y del HCO_3^- , incremento compensatorio de la pCO_2 . Como causales se relacionan el vómito y el suministro de sales alcalinas en forma de HCO_3^- .
3. Acidosis respiratoria, es un proceso que causa un incremento primario de la pCO_2 caracterizada por un bajo pH, incremento compensatorio de HCO_3^- . Es causado por una depresión del centro

respiratorio, cambios patológicos en las vías respiratorias o alta producción de CO_2 por hipertermia.

4. Alcalosis respiratoria, proceso que incrementa la eliminación de CO_2 , caracterizado por baja pCO_2 , alto pH y una disminución compensatoria de HCO_3^- . Es causada por estrés calórico (aumento de la frecuencia respiratoria), insuficiencia hepática, lesiones en el sistema nerviosos central, hiperventilación histérica, entre otras.

De otra parte, los trastornos ácido-base mixtos o complejos se caracterizan por el cambio primario en la concentración de bicarbonato o en la pCO_2 , sin cambio compensatorio el cual varía según la especie (26). En aves se conoce muy poco al respecto en comparación con especies como los equinos, los caninos y algunos felinos, en los cuales se ha definido la magnitud de estos cambios compensatorios (8). También, se pueden presentar mezclas de dos o más trastornos ácido-base simples o primarios (2).

Relación catión: anión dietario

Mongín (30) sostiene que un animal se encuentra en estado ácido-base estable cuando la suma de cationes (Cat) menos aniones (An) consumidos, más la producción endógena de ácido (H^+), menos la diferencia de cationes y aniones excretados es igual a cero.

$$(\text{Cat} - \text{An})_{\text{ingerido}} + \text{H}^+_{\text{endogeno}} - (\text{Cat} - \text{An})_{\text{excretado}} = 0$$

Debido a que bajo condiciones normales es difícil medir la excreción mineral y la producción endógena de ácido, y a que es más fácil controlar la composición mineral de la dieta, Mongín (30) sugiere que se debería utilizar como criterio de evaluación el BDE o balance dietario catión-anión ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$), debido a que estos son los de mayor influencia e importancia en el balance ácido-base. De hecho, Mongín y Sauveur (29) encontraron una relación directa entre la composición mineral de la dieta ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$) en mEq/kg. de dieta y la concentración plasmática de HCO_3^- ; además, destacan que cuando el BDE es alterado, muchas vías metabólicas involucradas en procesos de producción, desplazan su función hacia mecanismos homeostáticos, regulados principalmente por el riñón (8).

Normalmente estos electrólitos se manejan en la dieta en términos porcentuales y se hace necesario convertirlos a mEq con el fin de realizar el BDE. Por ejemplo, si una dieta contiene 0.17% de Na, 0.80% de K y 0.22% de Cl, se procede de la siguiente manera (21):

1. mEq Na/kg = $(0.17 \times 10.000)/23 = 73.9$
2. mEq K/kg = $(0.80 \times 10000)/39.1 = 204.6$
3. mEq Cl/kg = $(0.22 \times 10.000)/35.5 = 62.0$

Nótese que el denominador corresponde al peso atómico de cada elemento.

$$\text{BDE} = 73.9 + 204.6 - 62.0 = 216.5 \text{ mEq/kg.}$$

Mongín (30) concluye que se requiere un balance dietario de electrólitos de 250 mEq/kg. de alimento para el crecimiento óptimo del pollo de engorde; Jhonson y Karunajeewa (16) encontraron que un balance electrolítico menor de 180 mEq/kg. de alimento y mayor de 300 mEq/kg. de alimento, deprime el peso del pollo de engorde a los 42 días siendo el óptimo de 250-300 mEq/kg. Recientemente dos trabajos realizados en Brasil (31, 33), encontraron diferencias entre los rangos de BDE para pollos en pre-iniciación y para pollos en finalización. Estos hallazgos indican que el rango para pollitos en pre-iniciación es más amplio (250 a 319 mEq/kg. de dieta), que el valor para iniciación (249 a 261 mEq/kg. de dieta). La manipulación del BDE tiene una influencia significativa en el comportamiento de los pollos de engorde, debido a su efecto sobre el balance ácido-base (17, 24), por lo que se requieren estudios que permitan dilucidar los niveles adecuados bajo factores ambientales diferenciales.

Aniones como el Cl^- y en menor grado el SO_4^{2-} , deprimen considerablemente el pH sanguíneo y la concentración de bicarbonato, mientras que cationes como el K^+ y el Na^+ son alcalinogénicos. Oviedo et al (33) encontraron que los niveles de Cl^- para la fase preinicial de pollos de engorde eran superiores a los recomendados por el NRC (32). Aunque este mismo trabajo sugiere también mayores niveles de Na^+ , lo cual bloquearía el efecto acidogénico del Cl^- . En la fase de finalización, los hallazgos del mismo grupo (31), sugieren un incremento del 50% en el nivel de Cl^- , manteniendo el Na^+ constante con respecto a las recomendaciones del NRC. En estos trabajos se incrementaron también los niveles de K^+ a 0.95%,

ya que con los niveles recomendados por el NRC, las dietas serían fuertemente acidogénicas. Igual situación ocurriría con las dietas para postura, donde se requiere mayor investigación para determinar los requerimientos de electrolitos, especialmente en situaciones de estrés calórico y en la fase final de postura, donde disminuye la calidad de la cáscara.

Ante estas evidencias es importante incluir los valores de BDE de las diferentes materias primas en el proceso de formulación de mínimo costo (véase Tabla 1). En otras especies estas modificaciones han sido utilizadas para modificar la respuesta productiva (8).

Tabla 1. Composición de electrolitos y BDE de materias primas utilizadas en dietas para aves.

Ingrediente	Na (%)	K (%)	Cl (%)	BDE ¹ (mEq/kg.)
Arroz (grano)	0.07	0.13	0.08	41
Arroz (salvado)	0.07	1.73	0.07	453
Maíz	0.02	0.30	0.04	74
Sorgo	0.01	0.35	0.09	69
Trigo	0.04	0.45	0.05	118
Torta Girasol	0.2	1.0	0.1	314
Soya integral	0.03	1.61	0.03	416
Torta de Soya	0.02	1.98	0.05	501
Harina de Carne	1.15	0.60	0.91	397
H. Carne y hueso	0.70	1.45	0.69	481
H. Anchoqueta	0.65	0.69	0.60	290

¹ Valores calculados a partir del NRC (32)

Balance ácido-base y disturbios metabólicos en aves

La hipertensión pulmonar inducida por hipoxemia es el común denominador de todos los factores que inducen la ascitis, causada por vasoconstricción pulmonar (21). Esta vasoconstricción es mediada por metabolitos del ácido araquidónico (26), por la pO_2 alveolar (8), por cambios en la concentración local de H^+ (8), entre otros. En mamíferos por ejemplo, se ha demostrado que una acidosis causa vasoconstricción pulmonar y una alcalosis, aunque con respuesta variable, causa vasodilatación (2, 8, 9).

En la sabana de Bogotá, los pollos de engorde ascíticos presentan una tendencia a un estado de acidosis respiratoria y metabólica. Igualmente, los pollos de engorde no ascíticos presentan en el período de iniciación una tendencia a un estado de acidosis metabólica (véase Tabla 2), siendo más acentuada en las hembras (6). Esto podría estar relacionado con los

regímenes de alimentación utilizados. Las dietas de iniciación en general tienen más concentración de proteína, además, algunos de los aminoácidos y vitaminas con los cuales se suplementan están en forma de hidroclouros, por consiguiente estas dietas resultarían con una mayor capacidad acidogénica (9, 44). De otra parte, Julian (15) concluye que las aves jóvenes como el pollo de engorde tienen riñones poco desarrollados, los cuales no les permitirían soportar la excreción eficiente de toda la carga de ácido proveniente de la dieta y del metabolismo celular.

La mayor acidemia de las hembras podría explicarse por el hecho de que ellas exhiben una menor tasa de crecimiento y mayor deposición de grasa abdominal, lo cual sugiere que el nivel de proteína suministrado estaría en exceso, esta proteína en exceso se degradaría generando más carga de ácido como se mencionó anteriormente, lo que sugiere la necesidad de una formulación diferente para las hembras.

Owen, et al. (34) demuestran que el síndrome de hipertensión pulmonar se reduce significativamente en aves alimentadas con dietas alcalinizadas (1% de NaHCO_3) y por el contrario, la acidificación (1% de cloruro de amonio, NH_4Cl) incrementa la mortalidad por ascitis a elevada altitud, similares resultados encuentra Shlosberg (41), evaluando la alcalinización con 1000 mg. de KHCO_3 /Lt. de agua de bebida. Bajo condiciones de la sabana de Bogotá (2650 msnm), se observa (6) una reducción de un 92% en la mortalidad por síndrome ascítico alcalinizando el agua de bebida con 0.5% de KHCO_3 (36). Por consiguiente, la alcalinización en la dieta se constituiría en una alternativa eficiente y económica para reducir la mortalidad por síndrome ascítico; además de no causar residuos en las aves procesadas.

Estos antecedentes unidos a la utilización de dietas comerciales para pollos de engorde en condiciones de altitud y frío con una relación catión-anión de 171-193 encontradas en el alimento comercial conducen a afirmar que no se está manejando adecuadamente el balance de electrólitos para obtener mejores rendimientos en pollo de engorde (6).

De otra parte, se ha demostrado que la incidencia de discondroplasia tibial y otros desórdenes esqueléticos se incrementan con altos niveles de sales aniónicas en la dieta como el CaCl_2 y el NH_4SO_4 . Estos aniones reducen a la mitad la capacidad de síntesis de 1-25 dihidroxi colecalciferol y por consiguiente deprimen indirectamente la absorción intestinal de calcio, así como sus niveles plasmáticos (21).

Otros investigadores (25), sin embargo, no encontraron diferencias significativas en la incidencia de ascitis ni de problemas esqueléticos (véase Tabla 3), cuando utilizaron niveles elevados de lisina y diferentes valores de BDE en pollos de engorde ubicados a alta altitud (2200 msnm). Estas diferencias podrían deberse a la altitud, a factores de manejo y a diferencias genéticas.

Estrés calórico y balance ácido-base

En condiciones normales, la formación de la cáscara induce una acidosis renal asociada al a reabsorción total de HCO_3^- filtrado. Al mismo tiempo, la secreción de la cáscara induciría una acidosis metabólica ya que la formación de CaCO_3 insoluble involucra la liberación de iones H^+ (22). Estas condiciones ácidas son contrarrestadas por el sistema tampón de bicarbonato del fluido uterino. Sin embargo, en condiciones de estrés calórico, el aumento de la tasa respiratoria, como medida para liberar por

Tabla 2. Balance ácido base en pollos de engorde ascíticos y no ascíticos en la Sabana de Bogotá.

Variable	Iniciación (0-21 días)			Finalización (21-54 días)		
	Ascíticos	No ascíticos	P ¹	Ascíticos	No Ascíticos	P ¹
PH	7.18	7.32	**	7.29	7.36	**
PCO ₂ (mm Hg)	51.2	42.0	*	58.5	41.4	***
HCO ₃ (mE/l)	16.5	20.6	**	23.7	22.8	NS
Exceso base	-8.5	-4.9	***	-2.5	-2.9	NS

¹ NS= P no significativo; * = P<0.05; ** = P<0.01; *** = P<0.001.

Editado de Betancourt (4).

evaporación calor reduce la $p\text{CO}_2$ sanguínea y la concentración de H^+ produciendo un estado de alcalosis respiratoria (42). Estas alteraciones se acompañan por una reducción de la tasa de crecimiento (3,4,5) y disminución de la calidad de la cáscara en ponedoras (21,22).

Tabla 3. Efecto de la lisina y del BDE sobre la ganancia de peso, la incidencia de ascitis y de desórdenes esqueléticos en pollos de engorde de 35 días.

Tratamiento	Ganancia peso g	Mortalidad por Ascitis %	Desórdenes esqueléticos %
Lisina (%)			
1.1	1374	2.67	1.76
1.2	1421	4.90	0.44
SEM	12	1.04	0.36
	180	2454	3.00
	240	2384	5.35
	300	2455	3.00
SEM	21	1.27	0.45
Fuente de Variación		Probabilidad	
Lisina	0.013	0.290	0.017
BDE	0.249	0.534	0.116
Lisina*BDE	0.187	0.932	0.587

Editado de Martínez-Amezcuza y col (25).

La alcalosis respiratoria es acompañada con una disminución del bicarbonato sanguíneo (14), por lo que la adición de bicarbonato en la dieta podría ser efectiva. Ante la alcalosis respiratoria, se da una respuesta renal y sucede un aumento de la excreción de HCO_3^- . Si se tiene en cuenta que el bicarbonato es la materia prima para la síntesis de cáscara en la mucosa uterina, el resultado del estrés calórico sería una reducción de la síntesis de cáscara, afectando su calidad. En situaciones de campo, el reemplazo de parte del NaCl de la dieta por NaHCO_3 (2%) puede ser beneficioso para la formación de la cáscara, la producción de huevos, la ganancia diaria y la eficiencia alimenticia (7,20,21,22). Sin embargo, el efecto benéfico de este reemplazo puede deberse al efecto deletéreo que causaría un exceso de Cl sobre la actividad de la anhidrasa carbónica (10).

Adicionalmente, la inclusión de un 0.75 % de aluminosilicato de sodio ha mostrado buenos resultados en mejorar la calidad de la cáscara bajo condiciones de alta temperatura ambiental (19). Aunque varios estudios (14,39,42) mostraron que el bicarbonato no alteró el pH sanguíneo este mostró un efecto positivo al estimular el consumo de agua (4).

Otra práctica recomendada bajo condiciones comerciales es la adición de 0.75% de KCl al agua de bebida, resultando en un aumento del consumo de agua, de las pérdidas evaporativas, y del consumo de alimento (5). Respuestas favorables también se han observado en pollos de engorde con suplementación de 0.5% de KCl , al disminuir el pH y los niveles de corticosterona en sangre (13). Sin embargo, el NH_4Cl puede estar contraindicado, ya que el NH_4^+ estimularía la formación de urea en el hígado, aumentando la demanda de bicarbonato y compitiendo con el útero (22). En pollos de engorde, Teeter y colaboradores (42), concluyeron que la adición de NH_4Cl o HCl en el agua de bebida ayudan a controlar el pH sanguíneo pero sin restaurar los niveles de bicarbonato sanguíneo.

Metabolismo de aminoácidos y balance ácido-base

El metabolismo de los aminoácidos y la homeostasis ácido-base están íntimamente relacionados, además, la relación entre minerales y aminoácidos señala la necesidad de comprender y de integrar esta estrecha relación con miras a formular una dieta balanceada

La oxidación de la proteína genera ácidos inorgánicos como el H_2SO_4 o el H_2PO_3 , aunque esto depende del patrón de aminoácidos. Por ejemplo, la oxidación de aminoácidos neutros no afecta el balance ácido-base, mientras que la oxidación de aminoácidos dicarboxílicos tiende a causar alcalosis metabólica y la oxidación de aminoácidos básicos tiende a causar acidosis metabólica (9,43)

De otra parte, una acidosis metabólica estimula, a través de los glucocorticoides la degradación de la proteína reduciendo la retención de nitrógeno (26), mientras se ha demostrado que la administración de sales básicas como el NaHCO_3 a ratas y cerdos en estado de acidosis disminuye la proteólisis (35) y aumenta la disponibilidad de lisina para la síntesis de proteína en el músculo (1). Debido a la gran sensibilidad de las enzimas al pH, no sorprende observar alteraciones individuales en el metabolismo de algunos aminoácidos, como con los ramificados en el tejido muscular, ante eventos de acidosis aguda (27).

El antagonismo lisina-arginina está marcadamente influenciado por los cationes dietarios, en diversas especies se ha demostrado que las sales de potasio

atenúan este antagonismo incrementando la síntesis de proteína y por el contrario, el exceso de sales ácidas incrementa la actividad de la enzima arginasa renal exacerbando dicho antagonismo. En cerdos por ejemplo, se ha demostrado que la ganancia de peso se incrementa, en una dieta con un excesivo nivel de lisina, cuando se adicionan sales de sodio o potasio; similares resultados se obtienen cuando se suplementa con arginina (35). El efecto del potasio puede atribuirse a la mayor actividad de la lisina α -cetoglutarato reductasa, la cual disminuye la concentración de lisina en plasma y tejidos (40).

Aunque el efecto acidótico debido al uso de lisina sintética en forma de HCl, no representa una carga mayor (18), sí podrían ocurrir desbalances cuando se adicionan treonina y triptófano sintéticos. Estos aminoácidos permiten disminuir la cantidad de soya,

materia prima con alto contenido de K. La adición de NaHCO_3 evitaría efectos negativos bajo estas circunstancias (35). En un trabajo realizado en México (25) no encontraron interacciones entre niveles elevados de lisina y diferentes valores de BDE (véase Tabla 3).

Con respecto a los aminoácidos azufrados, su oxidación solo ocurre cuando están en exceso, con lo que aumentarían la carga ácida del sistema y disminuirían la conservación renal del calcio (35). En los últimos años, numerosas publicaciones han demostrado cambios sustanciales en los requerimientos del pollo de engorde, para lisina (18) y metionina (38), por lo que se requiere evaluar sus interacciones con diferentes valores de BDE en condiciones diferenciales de temperatura y altitud. Igualmente se debe investigar los valores de BDE en las diferentes etapas productivas de las aves de postura.

Summary

A review of the acid-base metabolism and its relationship with poultry nutrition

Environmental and nutritional conditions cause metabolic disturbs that affect acid-base equilibrium in modern poultry strains. Maintaining this equilibrium imply metabolic adjusts that can adversely affect poultry production (meat and eggs) efficiency. Many solutions to control these disorders are based in the knowledge of different biochemical and physiological factors advocated in it. Diet composition, particularly amino acids and electrolytes, is the clue to ameliorate or prevent these disorders. From research results of this group, we analyze the acid-base balance and it influence on broiler and laying hens nutrition, under different environmental conditions. Among dietary considerations, we suggest make some changes in the dietary electrolyte balance (DEB), in broiler diets when they are raised at high altitude, in order to decrease ascites incidence.

Key words : *acidosis, alkalosis, electrolytes, pH.*

Referencias

1. Austic R and Calvert C. Nutritional interrelationships of electrolytes and amino acids. Fed. Proc, 1981; 40:63-67.
2. Autran H and DiBartola S. Mixed acid base disorders. Part I. Clinical approach. Compendium of Continuing Education for the Practicing Veterinarian, 1993; 15:1619-1625.
3. Banalve D and Oliva A. Responses of finishing broilers at high temperatures to dietary methionine source and supplementation levels. Aust. J. Agric. Res, 1990; 41: 557-564.
4. Banalve D and Oliva A. The influence of sodium bicarbonate and sulfur amino acids on the performance of broilers at moderate and high temperatures. Aust. J. Agric. Res, 1991; 42: 1385-1397.
5. Belay T and Teeter R. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. Poultry. Sc, 1993; 72:116-124.
6. Betancourt L. Equilibrio ácido-base en pollos de engorde sometidos a tres regímenes de alimentación en la sabana de Bogotá y su influencia en el síndrome ascítico. Tesis Magister. Universidad Nacional de Colombia. 1998
7. Bottje W And Harrison P. The effect of tap water, carbonated water, sodium and calcium chloride on acid-base in cockerels subjected to heat stress. Poultry. Sc, 1985; 64:107-113.
8. Carlson G. Fluid, electrolyte and acid-base balance. En: Clinical biochemistry of domestic animals. Edited by Kaneko J, Harvey J and Bruss M. Academic Press, fifth edition. 1997. 485-516 pp.

9. Chan J. Nutrition and acid-base balance metabolism. *Fed. Proc*, 1981; 40:2423-2428.
10. Chen J and Banalve D. The influence of drinking water containing sodium chloride on performance and eggshell quality of a modern, colored layer strain. *Poultry. Sc*, 2001; 80:91-94.
11. Cogan M. Líquidos y electrolitos. Manual Moderno. México. 1993; 337 p.
12. Cordova A, Ferrer R, Muñoz C y Villaverde C. Compendio de Fisiología. Interamericana, McGraw-Hill. Madrid, España. 1994; 345p.
13. Deyhim F and Teeter R. Sodium and potassium chloride drinking water supplementation effects on acid-base balance and plasma corticosterone in broilers reared in thermo neutral and heat-distressed environments. *Poultry. Sc*, 1991; 70:2551-2553.
14. Fixter M, Banalve D and Jhonson R. The influence of dietary electrolyte balance on broiler growth at high temperature. *Proceeding of Poultry Husbandry Research Found Symposium. University of Sydney*, 1987; 38-48 p.
15. Julian R. The effect of increased sodium in the drinking water on right ventricular hypertrophy, right ventricular failure and ascites on broiler chicken. *Avian. Pathol*, 1987; 16:61-71.
16. Johnson R and Karunajeewa H. The effects of dietary minerals and electrolytes on the growth and physiology of the young chick. *J. Nut*, 1985; 115:1680-1690.
17. Karunajeewa H and Box M. Effect of dietary phosphorus concentration and electrolyte balance on the growth performance of broiler chickens. *British Poultry Sc*, 1986; 27:601-612.
18. Kerr B, Kidd M, Halpin K, McWard G and Quarles C. Lysine levels increases live performance and breast yield in male broilers. *J. Appl. Poultry Res*, 1999; 8:381-390.
19. Keshavarz K. and McCormic C. Effect of aluminosilicate oyster shell, and their combinations on acid-base balance and eggshell quality. *Poultry Sc*, 1991; 70:313-325.
20. Koelkebeck K, Harrison P and Parsons C. Carbonated drinking water for improvement of eggshell quality of laying hens during sometime months. *J. Appl. Poultry Res*, 1992; 1:194-199.
21. Leeson S, Summers J and Díaz G. *Poultry metabolic disorders and mycotoxins. University Books. Ontario, Canadá.* 1995 112-121p.
22. Leeson S, Summers J and Díaz G. *Nutrición Aviar Comercial. Santafé de Bogotá.* 2000 112-121p.
23. Linsley J. and Burger E. Respiratory and cardiovascular responses in the hyperthermic domestic cock. *Poultry Sc*, 1964; 43:138-144.
24. López B. and Austic R. The effect of selected minerals on the acid-base balance of growing chicks. *Poultry Sc*, 1993; 72:1054-1062.
25. Martinez-Amezcuca C, Laparra-Vega J, Avila-Gonzales E, Cortés-Poblano U and Kidd M. Dietary lysine and electrolyte balance do not interact to affect broiler performance. *J. Appl. Poultry Res*, 1998; 7:313-319.
26. May R, Kelly R and Mitch W. Metabolic acidosis stimulates protein degradation in rat muscle by glucocorticoid-dependent mechanism. *J. Clin. Invest*, 1986; 77:614-620.
27. May R, Hara Y, Kelly R, Block K, Buse M and Mitch W. Branched-chain amino acid metabolism in rate muscle: abnormal regulation in acidosis. *Am. J. Physiol*, 1987; 252:E712.
28. Melvin J. *Dukes' physiology of domestic animals. Reece Editors.* 11. 1993; 350p.
29. Mongín P. and Sauveur B. Interrelationships between mineral nutrition, acid-base balance growth and cartilage abnormalities. In: *Growth and Poultry Meat Production*, ed Borman and Wilson. British Poultry Science Ltd, Edinburgh, 1977; 235-247p.
30. Mongín P. Recent advances in dietary anion-cation balance: applications in poultry. *Proc. Nutr. Soc*, 1981; 40: 285-294.
31. Murakami A, Oviedo-Rondón, E, Martins, E, Pereira M and Scapinello, C. Sodium and chloride requirements of growing chickens (twenty-one to forty-two days of age) fed corn-soybean diets. *Poultry. Sc*, 2001; 80: 289 - 294.
32. National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Poultry .9° edition. National Academy Press*, 1994; 23-27p.
33. Oviedo-Rondón E, Murakami A, Furlan, A y García J. Exigencias nutricionais de sodio e cloro e estimativa do melhor balanço electrolítico da racao para frangos de corte na fase pre-inicial (1-7 días de Idade). *Rev. Br. Zoot*, 2000; 29 :1162-1166.
34. Owen R, Wideman R, Leach R, Cowen B, Dunn, P and Ford B. Effect of age of exposure and dietary acidification or alkalization on broiler pulmonary hypertension syndrome. *J. Appl. Poultry Res*, 1994; 3:244-255.
35. Patience J. A review of the role of acid-base balance in amino acid nutrition. *J. Anim. Sc*, 1990; 68:398-408.
36. Pinzón, A. y Pinzón, W. *Alcalinización del agua de bebida y su influencia sobre el síndrome ascítico y parámetros productivos. Tesis de grado. Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Santafé de Bogotá.* 1999; 62p.
37. Randall D, Burggren W and French K. *Animal Physiology : Mechanisms and adaptations.* 4° edition. Freeman and Company. 1997; 517-533 p.
38. Schutte J and Pack M. Sulfur amino acid requirement of broiler chicks from fourteen to thirty-eight days of age. 1. Performance and carcass yield. *Poultry. Sc*, 1995; 74:480-487.
39. Smith M and Teeter R. Evaluation of sodium and potassium salts for heat stressed broilers. *Poultry. Sc*, 1987; 66 (suppl. 1):179.

40. Scott R and Austic R. Influence of dietary potassium on lysine metabolism in the chick. *J. Nutr*, 1978; 108:137-144.
41. Shlosberg A. Comparative effects of added sodium chloride, ammonium chloride or potassium bicarbonate in drinking water of broilers, and feed restriction on the development of ascites syndrome. *Poultry. Sc*, 1998; 77:1287-1296.
42. Teeter R, Smith M, Owens F, Arp S, Sangiagh S and Breazile J. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. *Poultry. Sc*, 1985; 64:1060-1064.
43. Walser M. Roles of urea production ammonium excretion, and amino acid oxidation in acid-base balance. *Am. J. Physiol*, 1986; 250:F181.
44. Wideman R, Kerby Y, Mohamad I, Bottje W, Moore R and Vardeman R. supplemental L-Arginine attenuates pulmonary hypertension syndrome (ascites) in broilers. *Poultry. Sc*, 1995; 74:323-330.