Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 36 (1&2): 37-43 (1997); 2 Figs., 2 Tabs.

MECANISMOS DE REGULACION ACIDOBASICA EN ALGUNOS VERTEBRADOS E INVERTEBRADOS DEL ORIENTE DE VENEZUELA

MARIO BELMAR[1], JULIO C. ARMAS[1], DANIEL BELMAR[2] WALLIS RIVEROS[1], SORANA YEGRES[3] & GLEDYS CARRILLO[3]

[1]*Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente.*
[2]*Laboratorio Clínico Universitario, Empresa Rental Sucre, Universidad de Oriente.*
[3]*Departamento de Bioanálisis, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente.*

RESUMEN: El presente estudio fue realizado en 48 especies de vertebrados e invertebrados de la región nororiental de Venezuela con el objeto de establecer los valores medios basales y los rangos de variabilidad fisiológica para los parámetros acidobásicos de los fluídos extracelulares de estos animales. En celenterados y equinodermos se obtuvo fluido celómico; en moluscos líquido intervalvar y en artrópodos se extrajeron muestras de hemolinfa. En peces, anfibios y aves se obtuvieron muestras de sangre por punción cardíaca directa; en reptiles y mamíferos superiores se extrajeron muestras de sangre arterial heparinizada. Las muestras fueron de inmediato introducidas a un microanalizador, para determinar los valores de pH, presión parcial de bióxido de carbono (PCO_2), concentración de iones bicarbonato y CO_2 Total. Los celeenterados, equinodermos y varios moluscos demuestran una ausencia casi completa de regulación acidobásica. Los peces y reptiles presentan bajos valores de sus constantes acidobásicas. Los valores de pH más elevados fueron medidos en *Bufo marinus, Bufo granulosus y Columba domestica*. Los anfibios, aves y mamíferos muestran valores bastante similares de pH, PCO_2 y bicarbonatos, a excepción de los murciélagos *Lasiurus ega* y *Noctilio leporinus* y el ratón *Mus musculus*. Se discuten los mecanismos de regulación acidobásica de estos animales en función de los amortiguadores sanguíneos, el efecto de la temperatura, el control respiratorio y los ajustes renales.

ABSTRACT: The present study was carried out on 48 vertebrate and invertebrate species from the north-eastern region of Venezuela with the purpose of establishing the average basal values and the physiological variability ranges for the acid-base parameters of extracellular fluids of these animals. From celenterates and echinoderms we obtained coelomic fluid; from molluscs intervalvar liquid and from the arthropods we took hemolymph samples. In fish, amphibians and birds we obtained blood samples by direct cardiac puncture; in reptiles and higher mammals we took heparinized arterial blood samples. Samples were immediately introduced into a microanalyzer, registering pH values, carbon dioxide partial pressure (PCO_2), bicarbonate ion concentration and Total CO_2. Celenterates, echinoderms and several molluscs showed an almost complete absence of acid-base regulation. Fish and reptiles displayed low values of acid-base constants. The highest pH values were found in *Bufo marinus, Bufo granulosus* and *Columba domestica*. Amphibians, birds and mammals had quite similar pH, PCO_2 and bicarbonate values, except for the bats *Lasiurus ega* and *Noctilio leporinus*, and mice *Mus musculus*. Acid-base regulation mechanisms in these animals are discussed on the basis of blood buffers, effect of temperature, respiratory controls and renal regulation.

INTRODUCCIÓN

El concepto de balance o equilibrio acidobásico implica la mantenencia de un valor relativamente constante del pH extracelular y de valores algo inferiores y generalmente variables para el medio intracelular. La regulación del pH es un aspecto importante y universal de la homeostasis fisiológica. En general, entre los vertebrados, las aves y especialmente los mamíferos se caracterizan por mantener una elevada constancia de sus fluidos corporales, incluyendo su balance acidobásico. Sin embargo, en los animales poiquilotermos el pH extracelular varía en proporción inversa a los cambios de temperatura corporal, de acuerdo a lo señalado por HOWELL & RAHN (1976).

Esto significa que la constancia relativa del pH extracelular en aves y mamíferos representa un aspecto limitado de este sistema, dependiente de la temperatura, la cual es favorecida por la homeotermia de ambos grupos de animales y controlada por los amortiguadores acidobásicos, el mecanismo respiratorio, la hemoglobina y la regulación renal. No obstante, a cualquier temperatura dada, los animales ecto y endotermos parecen regular la concentración de hidrogeniones extracelulares de manera bastante similar: los metabolitos ácidos son amortiguados en los tejidos hasta que ellos son finalmente eliminados por las superficies respiratorias o el mecanismo renal.

El balance acidobásico es un proceso complejo en el cual participan diferentes factores, principalmente la concentración de los iones hidrógeno (H^+), presión parcial de bióxido de carbono (PCO_2) y la concentración de iones bicarbonatos. Gran parte de la complejidad del problema radica en que cada uno de estos parámetros tiene un modo de acción peculiar, pero presentan entre sí importantes

interdependencias para mantener el pH dentro de los límites normales compatibles con la vida del animal: los catabolitos ácidos -de los cuales el CO_2 es el más importante- son productos secundarios inevitables generados en los procesos de oxidación celular, que de no ser neutralizados en forma selectiva podrían alterar rápida y drásticamente la constancia del medio interno (GOLDSTEIN, 1981).

De acuerdo con estos antecedentes, hace varios años se inició un estudio cuya finalidad principal fue establecer los valores que deberían considerarse como "normales" o valores de referencia para los parámetros acidobásicos de la sangre o fluídos extracelulares de los animales que habitan en la región nororiental de Venezuela, y sus intervalos de variabilidad fisiológica, destacando los diferentes mecanismos desarrollados por ellos para controlar la constancia acidobásica de sus fluídos corporales (BELMAR & BELMAR, 1987). En este trabajo se describen los hallazgos más resaltantes del balance acidobásico determinados en los fluidos extracelulares de algunos vertebrados e invertebrados marinos, dulceacuícolas y terrestres de la región oriental de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. POBLACIÓN

Entre los años 1982 y 1996 se efectuaron determinaciones de pH y gases fisiológicos de la sangre o fluidos extracelulares de 48 especies de vertebrados e invertebrados terrestres y acuáticos que habitan en la zona nororiental de Venezuela, específicamente en los alrededores y en la ciudad de Cumaná, Estado Sucre.

Los invertebrados marinos, los tunicados y los peces fueron capturados en el Golfo de Cariaco, Estado Sucre, e inmediatamente transportados al laboratorio en envases con aireación constante y agua del sitio de recolección.

Los anfibios, reptiles, aves y mamíferos fueron adquiridos o capturados en los alrededores de la ciudad de Cumaná, con excepción de los alcatraces que fueron recolectados en el Morro de Puerto Santo en Carúpano. Los peces y crustáceos de agua dulce fueron capturados en el río Manzanares.

Todos los animales acuáticos fueron mantenidos en acuarios de 200 litros de capacidad que contenían agua filtrada y aireada, con la misma salinidad del sitio y momento de la captura, durante un período mínimo de 72 horas previas a la extracción de la muestras.

2. Muestras :

En celenterados y equinodermos se extrajo fluido celómico por punción de la cavidad perivisceral, en moluscos líquido intervalvar, en crustáceos de agua dulce se extrajo hemolinfa por punción torácica y en artrópodos se obtuvo hemolinfa a través de la membrana artropodial del meropodito.

En peces, anfibios, reptiles, aves y pequeños mamíferos se extrajeron muestras de sangre heparinizada por punción cardíaca directa, y en los mamíferos de mayor desarrollo las muestras fueron extraídas por punción de las venas superficiales. En el morrocoy (*Testudo sculpa*) la sangre fue extraída desde la arteria carótida; en perros (*Canis familiaris*) y conejos (*Oryctolagus cuniculus*) directamente desde la arteria femoral.

En humanos se obtuvieron muestras de sangre heparinizada por punción de la arteria radial y de la vena basílica mediana del pliege del codo; en recién nacidos (sala de Parto del Hospital Universitario "Antonio Patricio de Alcalá") se obtuvo sangre desde la arteria y vena umbilical, 10-15 segundos después del nacimiento.

Todas las muestras fueron obtenidas utilizando jeringas impregnadas con heparina y en condiciones de estricta anaerobiosis, descartando aquellas contaminadas con aire atmosférico. De inmediato fueron introducidas en la cubeta modular de un microanalizador de pH y gases fisiológicos (Corning modelo 165/2 o Ciba Corning modelo 238) previamente calibrados con soluciones buffers y gases estandarizados. Las lecturas de las muestras fueron efectuadas por duplicado, dentro de los cinco minutos siguientes a su extracción.

RESULTADOS

Los parámetros acidobásicos del líquido extracelular de 21 especies de invertebrados marinos, de agua dulce y semiterrestres se anotan en la Tabla 1. En ella se incluye el número de ejemplares de cada especie (N), los valores me-

dios y desviaciones estándares de los parámetros acidobásicos en sus unidades respectivas y la relación bicarbonato/ácido carbónico deducida a partir del cociente HCO_3^- / a PCO_2.

Las variables implicadas en el control del pH extracelular de estos mismos animales se anotan en forma de equivalencia acidobásica en la Figura 1: la concentración de ácido carbónico y el pH en la parte superior de la línea cero y los iones bicarbonato en la parte inferior de la misma.

En general se observa que, con pocas excepciones, los celentéreos, equinodermos y moluscos muestran valores bajos de pH, inferiores o cercanos a 7, a consecuencia de los reducidos valores de los iones bicarbonato. Los valores más bajos de pH fueron registrados en el molusco *Aplysia sp.* y en el erizo blanco *Echinometra lucunter*, debido a su escaso contenido de iones bicarbonatos y una PCO_2 relativamente baja, lo cual proporciona una relación bicarbonato/ácido carbónico de solamente 1,1:1.

TABLA 1. Parámetros acidobásicos extracelulares dei nvertebrados acuáticos y terrestres. Valores medios (± D.S). N = número de ejemplares.

ESPECIES	N	pH (-log H')	PCO_2 (mm Hg)	CO_3H^- (mM/l)	$CO_3H^-/CO_3H.H$	CO_2 total M/l
CELENTÉREOS						
Condylactis gigantea	24	6,507(0,2)	3,5 (0,9)	0,2(0,1)	1,8:1	0,2(0,1)
EQUINODERMOS						
Holothuria	19	6,908 (0,3)	2,4(1,2)	0,2(0,1)	2,8:1	0,3(0,1)
Clypeaster subdepreus	29	6,608(0,3)	14,7(5,5)	0,8(0,2)	1,8:1	1,2(0,4)
Lytechinus variegatus	30	6,665(0,3)	5,0(1,2)	0,5(0,3)	3,3:1	0,6(0,4)
Echinometra lucunter	15	6,158(0,1)	9,9(2,8)	0,3(0,2)	1,1:1	0,5(0,3)
MOLUSCOS						
Perna perna	24	7,144(0,2)	2,2(0,8)	0,7(0,4)	10,6:1	0,8(0,4)
Arca zebra	26	6,940(0,2)	6,8(3,2)	1,2(0,4)	5,8:1	1,4(0,4)
Trichocardia isocardia	27	6,393(0,3)	3,7(0,7)	0,2(0,1)	1,8:1	0,3(0,1)
Trichycardium muricate	30	6,975(0,2)	6,9(2,8)	1,5(0,3)	7,1:1	1,6(0,3)
Sepioteuthis sepioidea	35	6,939(0,2)	5,8(2,2)	1,3(0,8)	7,5:1	1,4(0,9)
Aplysia sp.	18	6,032(0,4)	17,6(8,4)	0,6(0,1)	1,1:1	0,9(0,2)
Pinctata imbracata	25	7,174(0,3)	19,8(0,3)	7,6(1,0)	12,8:1	8,1(0,9)
Lima scabra	23	6,845(0,1)	5,2(0,2)	0,5(0,2)	3,1:1	0,6(0,2)
Marisa cornuarietis	33	7,440(0,3)	15,1(4,5)	12,7(3,9)	27,6:1	13,1(4,1)
ARTRÓPODOS						
Cardisoma guanhumi	48	7,310(0,2)	37,9(6,1)	19,3(4,6)	16,9:1	19,8(4,7)
Callinectes ornatus	35	7,339(0,2)	14,5(4,5)	9,3(3,7)	21,3:1	9,7(3,8)
Callinectes danae	12	7,310(0,2)	38,8(6,3)	19,9(4,9)	17,1:1	20,7(4,9)
Uca rapax	24	7,487(0,1)	22,4(6,8)	16,1(4,3)	23,8:1	16,8(4,4)
CRUSTÁCEOS DE AGUA-DULCE						
Atya scabra	30	7,460(0,2)	8,2(1,9)	5,8(1,6)	23,5:1	6,0(1,9)
Macrobrachium carcinus	12	7,450(0,1)	11,5(1,8)	8,0(1,5)	23,1:1	8,2(2,2)
Pseudothelphusa sp.	35	7,336(0,2)	23,7(6,7)	13,1(3,5)	18,4:1	13,8(3,6)

En moluscos resaltan los valores proporcionados por la cuiva *Marisa cornuarietis* especie de agua dulce que presenta los valores más altos de iones bicarbonato, de la relación bicarbonato/ácido carbónico (27,6 : 1) y un pH extracelular

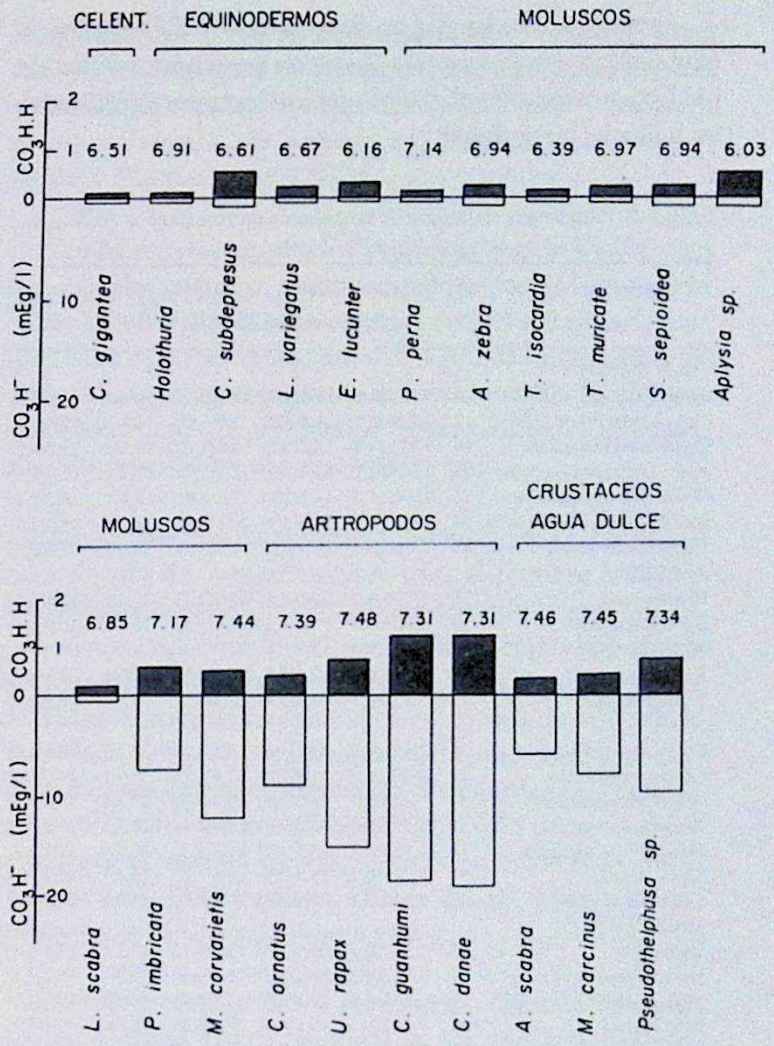


FIGURA 1. Balance acidobásico en invertebrados marinos, dulceacuícolas y semi-terrestres

de 7,44, muy similar al de otros invertebrados de mayor organización y al valor medio de muchos vertebrados acuáticos o terrestres.

Los artrópodos y crustáceos de agua dulce muestran ya valores más elevados de iones bicarbonato y del cociente base/ácido que proporcionan cifras de pH de 7,31 para el cangrejo azul *Cardisoma guanhumi* y la jaiba *Callinectes danae* y un pH de 7,48 para el cangrejo semi-terrestre *Uca rapax*.

Los datos registrados para los vertebrados terrestres y acuáticos se muestran en la Tabla 2 y Figura 2. Hay que destacar los bajos valores de pH obtenidos para el bagre marino *Arius herzbergii* (pH 7,16), para las dos especies de murciélagos *Lasiurus ega* y *Noctilio leporinus* (pH 7,19 y 7,01, respectivamente) y para el ratón albino *Mus musculus* (pH 7,18).

Inversamente, los sapos *Bufo marinus* y *B. granulosus* y también la paloma *Columba domesticus* presentan valores de pH ligeramente más elevados que los restantes vertebrados incluidos en este trabajo.

TABLA 2. Parámetros acidobásicos sanguíneos en vertebrados acuáticos.

ESPECIES	N	pH (-log H⁺)	PCO_2 (mm Hg)	CO_3H^- (mM/l)	CO_3H^-/ CO3H.H	CO2 Total (mM/l)
TELEOSTEOS						
Anus herzbergi	24	7,160(0,2)	16,3(8,9)	7,2(3,7)	14,7:1	7,8(3,8)
Orthopristis ruber	12	7,224(0,1)	11,8(4,9)	5,6(4,9)	15,8:1	5,8(1,6)
Diplectrum formosum	14	7,372(0,2)	17,7(6,2)	12,0(3,9)	22,5:1	12,8(4,5)
Archosargus romboidalis	29	7,314(0,1)	23,4(3,2)	12,1(1,9)	17,2:1	12,4(2,1)
Chilomycterus antillarum	17	7,345(0,2)	14,3(1,1)	7,6(1,8)	17,6:1	8,2(1,8)
Sarotherodon mossambicus	25	7,230(0,2)	23,5(3,0)	10,6(3,2)	14,9:1	11,2(1,6)
Plecostomus watwata	39	7,280(0,1)	16,1(6,2)	7,1(2,3)	15,0:1	7,6(2,5)
ANFIBIOS						
Bufomannus	20	7,530(0,2)	22,5(6,2)	18,5(3,7)	27,3:1	18,8(3,8)
Bufo granulosus	19	7,564(0,1)	17,6(4,2)	15,0(3,3)	28,3:1	15,5(3,4)
REPTILES						
Iguana iguana	45	7,245(0,1)	52,4(8,8)	19,7(4,8)	12,5:1	22,7(5,9)
Testudo sculpa	16	7,321(0,1)	56,1(3,4)	26,5(2,3)	15,7:1	28,4(2,4)
AVES						
Columba domesticus	26	7,597(0,1)	29,3(7,6)	29,4(4,3)	33,3:1	30,6(5,3)
Coturnix coturnix	28	7,490(0,2)	41,9(7,9)	32,6(6,1)	25,9:1	33,9(6,3)
Scardafela sguamata	19	7,443(0,1)	29,0(6,9)	20,3(5,6)	23,3:1	20,5(4,4)
Anas sp	18	7,393(0,1)	33,4(7,4)	19,4(2,8)	19,3:1	20,3(3,1)
Pelecanus occidentalis	16	7,385(0,2)	25,9(1,7)	16,3(1,3)	20,9:1	17,1(1,9)
Larus atricilla	15	7,408(0,2)	25,3(2,1)	15,5(1,4)	20,4:1	16,1(1,7)
Quiscalus lugubris	18	7,439(0,3)	29,8(4,3)	20,8(3,9)	23,2:1	22,5(4,6)
MAMÍFEROS						
Lasiurus ega	17	7,187(0,3)	28,9(9,3)	11,0(4,1)	12,7:1	11,4(4,3)
Noctilio leporinus	19	7,012(0,1)	50,1(9,2)	13,4(4,4)	8,9:1	15,2(4,8)
Mus musculus	18	7,184(0,2)	48,3(6,9)	17,7(6,2)	12,0:1	19,5(6,9)
Rattus rattus	21	7,362(0,1)	49,9(3,1)	27,9(3,4)	18,5:1	29,4(3,4)
Dasyprocta rubrata	18	7,366(0,3)	37,7(7,1)	22,3(3,0)	19,6:1	24,2(3,2)
Felis domestica	14	7,330(0,2)	32,2(8,8)	22,6(2,1)	23,3:1	23,8(2,2)
Oryctolagus cuniculus	24	7,464(0,2)	24,0(2,7)	18,8(2,8)	26,0:1	19,4(3,0)
Canis familiaris	18	7,392(0,1)	32,1(2,4)	19,2(3,2)	19,9:1	20,1(3,3)
Homo sapiens (arterial)	18	7,426(0,1)	44,6(7,4)	27,2(4,6)	20,3:1	28,3(5,7)
(venosa)	25	7,411(0,1)	47,2(5,8)	28,9(3,8)	20,4:1	29,3(4,1)
neonatos:						
(arterial)	25	7,294(0,1)	48,2(8,1)	19,6(1,7)	13,3:1	24,4(2,6)
(venosa)	21	7,291(0,1)	50,6(7,8)	20,2(1,2)	13,3:1	22,5(2,2)

DISCUSION

Indudablemente, la regulación de los parámetros implicados en el balance acidobásico del medio extracelular es un aspecto de extraordinaria importancia en la mantención de la constancia del medio interno del cuerpo animal. Actualmente, se conoce que las variaciones del pH extracelular provocan alteraciones funcionales de la actividad enzimática, del ingreso y excreción celular de iones y metabolitos, de la captación o liberación de oxígeno por las células e, incluso, de la conformación de los componentes de la estructura biológica de los animales (KAPLAN & PESCE, 1991). Estos

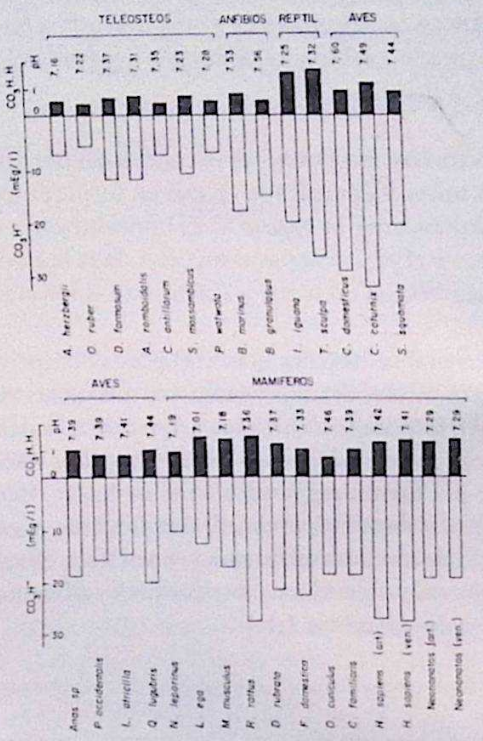


FIGURA 2. Balance acidobásico en vertebrados acuáticos y terrestres.

cambios inducen, a su vez, la aparición de diversos signos y síntomas que incluyen, principalmente, alteraciones de la excitabilidad neuromuscular, de la actividad respiratoria, de la dinámica cardíaca y de la función renal.

El control del balance acidobásico es efectuado de manera diferente en los diversos grupos de animales. Así, en los animales acuáticos de respiración branquial, esta regulación presenta ciertas peculiaridades que la diferencian notablemente de los mecanismos desarrollados por las especies terrestres. De este modo, en los poiquilotermos acuáticos hay que considerar tres aspectos fundamentales que intervienen en esta regulación : a) los efectos de la temperatura corporal sobre el pH extracelular, b) las diferencias en los mecanismos de ventilación y, c) los intercambios iónicos a nivel de las branquias (HOAR, 1978).

La influencia de la temperatura sobre el pH sanguíneo de los animales ectotermos fue apreciada desde hace largo tiempo por AUSTIN *et al.*, (1927), cuyas observaciones quedaron ignoradas hasta que en la década de los años setenta algunos investigadores demostraron que en los reptiles el pH sanguíneo muestra una relación lineal inversa con los cambios de la temperatura corporal en el rango de 5° a 37° C.

(Howell *et al.*,1970; Jackson *et al.*,1974; Howell & Rahn, 1976). Esta relación no está restringida a los reptiles, sino que también ha sido comprobada para otros vertebrados poiquilotermos y para muchos invertebrados. Ha sido establecido que el promedio de cambio del pH por cada grado que cambia la temperatura, D pH / D °C, es de alrededor de 0.016 - 0.017 unidades de pH (Howell & Rahn, *op. cit.*).

El análisis de los datos expuestos para los invertebrados acuáticos y terrestres incluidos en este estudio permite señalar una casi total ausencia de regulación acidobásica en celentéreos, equinodermos y moluscos del ambiente marino, la cual solo se inicia a partir de los artrópodos marinos y semi-terrestres y en los crustáceos de agua dulce.

Es posible inferir que en los poiquilotermos acuáticos esta carencia de control acidobásico pueda ser debida a la incapacidad de regular el pH mediante el mecanismo respiratorio. Como estos animales habitan en un medio relativamente pobre en oxígeno, en comparación con el ambiente terrestre, necesitan incrementar la frecuencia de la ventilación branquial para captar una cantidad adecuada de este gas; sin embargo, el CO_2 producto del metabolismo, es varias veces más soluble que el oxígeno en el medio acuoso y difunde rápidamente desde el líquido extracelular del animal hacia el medio ambiente externo. En consecuencia, los animales de respiración branquial están incapacitados para ajustar su pH extracelular mediante el mecanismo ventilatorio y, posiblemente, recurren a regularlo mediante intercambios iónicos a nivel de las células branquiales (Cameron & Randall, 1972).

En las branquias se supone que las células respiratorias más que las células de cloruro están involucradas en la regulación acidobásica mediante procesos de intercambios de iones NH_4^+ o H^+ del animal por iones Na^+ del medio acuoso resorbidos hacia los líquidos extracelulares, y por la difusión de iones $HCO3^-$ a través del epitelio branquial hacia el medio ambiente y su intercambio por iones Cl^- desde éste hacia los espacios intersticiales del animal (Robert & Randall, 1975; Perry *et al.*,1981; Cameron & Heissler, 1983).

Posiblemente estos mecanismos de intercambios iónicos que efectúan las células branquiales servirían no solo para mantener el equilibrio acidobásico del medio extracelular mediante la excreción de iones NH_4^+, H^+ y CO_3H-, todos productos del catabolismo de ácidos y compuestos nitrogenados, sino que además facilitarían el resguardo de la osmolaridad extracelular mediante la resorción de iones Na^+ y Cl^- desde el ambiente acuoso hacia el medio interno, y con ello, la regulación osmótica de los fluídos biológicos de estos animales , de acuerdo a lo señalado por Cameron (1979) y Randall *et al.* (1982).

También estos resultados muestran que la mayoría de los animales marinos presentan valores de pH que están entre 0,5 y 2,0 unidades por debajo del pH del agua de mar (pH 8,0 a 8,1). No conocemos el significado biológico de estos hallazgos, aunque podría inferirse que ello sea debido a la retención de algunos aniones, como sulfatos y cloruros, abundantes en el medio ambiente marino.

Por otra parte, y de acuerdo a los conceptos clásicos, un valor de pH de 7,40 es normal para el hombre con una temperatura corporal de 37° C, siempre que la relación bicarbonato/ácido carbónico sea de 20:1, como ha sido el consenso de tantos años y adoptado como el punto neutro del balance acidobásico para el ser humano (Smith, 1963; Blechner, 1993). Nuestros resultados para sangre venosa y arterial de los individuos normales concuerdan casi exactamente con estos valores (Tabla 2, Fig. 2). La pequeña diferencia arterio-venosa que se observa en estos individuos (pH arterial 7,42, pH venoso 7,41) es debida al ligero incremento de la PCO_2 en la sangre venosa.

Los valores medios de los parámetros acidobásicos registrados en arteria y vena umbilical de los neonatos también concuerdan estrechamente con los señalados por otros autores para latitudes y condiciones climatológicas diferentes a las de nuestro país (Yeomans *et al.*, 1985; Blackstone & Joung, 1993: Gregg & Weiner, 1993). Las cifras obtenidas son ligeramente inferiores a las del adulto, a consecuencia del menor contenido de iones bicarbonato, lo cual podría significar que los recién nacidos están menos preparados que los adultos para defenderse de la acidosis metabólica, trastorno acidobásico de alta frecuencia en la clínica humana.

En los últimos años se han realizado diversos estudios sobre la medición del pH y gases sanguíneos del cordón umbilical con el objeto de valorar el estado de oxigenación fetal y neonatal durante el nacimiento (Johnson *et al.*, 1990: Sherry *et al.*, 1990; Duerbeck *et al.*, 1992; Vintzileos *et al.*, 1992; Su-J, 1993).

En general, la homeostasia acidobásica de los vertebrados superiores es regulada por cuatro mecanismos que incluyen :

a) los amortiguadores acidobásicos, que actúan en fracciones de segundos para evitar cambios excesivos de la concentración de iones hidrógeno,

b) el papel regulador de la hemoglobina, transportando CO_2 desde las células hasta las superficies respiratorias,

c) el mecanismo respiratorio que controla la concentración de CO_2 en la sangre arterial, y

d) los ajustes renales, responsables de la regulación a largo plazo, eliminando orinas ácidas o alcalinas.

En la sangre de otros vertebrados incluidos en este estudio, hay que destacar los bajos valores de pH registrados para el bagre marino *A. herzbergii*, las dos especies de murciélagos *N. leporinus* y *L. ega* y para el ratón albino *M. musculus*. Estas reducciones del pH, en relación a los restantes vertebrados acuáticos y terrestres, son originadas principalmente por la disminución de la fracción de iones bicarbonato y que, de acuerdo a los conceptos clásicos, corresponderían a un estado de acidosis metabólica descompensada . Sin embargo, es posible interpretar estos hallazgos desde un punto de vista más funcional que patológico, en base a la intensa actividad muscular que desarrollan normalmente estas especies, lo cual significa una mayor producción de metabolitos ácidos (ácido láctico, principalmente) y, en consecuencia, una reducción de la fracción de iones bicarbonato que deben ser utilizados para amortiguar el exceso de ácido, lo que trae finalmente una discreta disminución del pH sanguíneo.

Inversamente, los sapos *B. marinus* y *B. granulosus* y la paloma *C. domesticus* muestran valores de pH sanguíneo algo más elevados que las restantes especies. Este incremento en los anfibios obedece, principalmente, a una importante reducción de la PCO_2 sanguínea, en tanto que en la paloma esta disminución se acompaña de un notorio incremento de los iones bicarbonato. La disminución de la PCO_2 o el incremento del bicarbonato sanguíneo induce a pensar que estas especies presentan un trastorno de alcalosis respiratoria y metabólica. Sin embargo, en los sapos posiblemente este efecto sea más bien debido a la disminución de su actividad física y metabólica , y por ende, a una menor producción de CO_2, con desplazamiento del pH hacia el lado alcalino.

Además, muchas especies utilizan el jadeo o la vibración gular como mecanismos de disipación de calor y, al parecer, ello es causa de alcalosis respiratoria en estos animales. Este fenómeno ha sido informado tanto para mamíferos como para aves y, como señala GUYTON (1989), probablemente el mecanismo es controlado por núcleos estrechamente relacionados con el centro neumotáxico de la protuberancia.

Finalmente, se sugiere que estos resultados podrían ser de utilidad como una primera aproximación a los valores de referencia para los parámetros acidobásicos de algunos vertebrados e invertebrados que habitan en la región nororiental de Venezuela, en futuras investigaciones relacionadas con los mecanismos de control acidobásico en organismos acuáticos y terrestres.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento otorgado al programa CI-5-024-00177/ 82, del cual forma parte este estudio.

REFERENCIAS

AUSTIN, J. H., F. W. SUNDERMAN & J. G. CAMACK. 1927. Studies in serum electrolytes. II. The electrolyte composition and the pH of serum of a poikilothermous animal at different temperatures. *J. Biol. Chem.* 72: 677-685.

BELMAR , W. & M. BELMAR. 1987. Efectos de la hipoxia ambiental sobre algunas constantes hemodinámicas, acidobásicas y electrolíticas de *Iguana iguana* (L., 1758). *Acta Cient. Venezol.* 38: 350-355.

BLACKSTONE, J. & K.B. JOUNG. 1993. Cifras acidobásicas en cordón umbilical y otros parámetros. *Clinic. Obstet. Ginecol.* 1: 33-43.

BLECHNER, J. N. 1993. *Fisiología acidobásica maternofetal. Clínicas Obstétricas* y *Ginecológicas,* Ed. Interamericana, Mc Graw-Hill. México. pp. 3-11.

CAMERON, J. N. 1979. Excretion of CO2 in water-breathing animals. A short review. *Mar. Biol. Letters* 1: 3-13.

CAMERON, J. N. & D.J. RANDALL. 1972. The effect of increased ambient CO2 on arterial CO2 tension, CO2 content and pH in rainbow trout. *J. Exp. Biol.* 57: 673-680.

CAMERON, J. N. & N. HEISSLER. 1983. Studies of ammonia in the rainbow trout : physico-chemical parameters, acid-base behaviour and respiratory clearance. *J. Exp. Biol.* 105: 107-125.

DUERBECK, N, S., D. G. CHAFFIN & J. W. SEEDS. 1992. A practical approach to umbilical artery pH and blood gas determinations. *Obstet. Gynecol.* 79(6): 959-962.

GOLDSTEIN, L. 1981. *Fisiología Comparada.* Nueva Editorial Interamericana, México, D.F. pp 206-214.

GREGG, A. & C. P. WEINER. 1993. Cifras "normales" del estado acidobásico y de gases sanguíneos arteriales y venosos umbilicales. *Clin. J. Obstet. Gynecol.* 1: 23-24.

GUYTON, A. C. 1989. *Tratado de Fisiología Médica.* 5ª Ed.Interamericana, Mc Graw-Hill, México, pp 511-512.

HOAR, W. S. 1978. *Fisiología General y Comparada.* 1ª Ed.Omega, Barcelona, España, pp 345-457.

HOWELL, B. J. & H. RAHN. 1976. *Biology of the Reptilia.* Ed. C. Gans, Academic Press, London, pp 335-362.

HOWELL, B. J., F. W. BAUMGARDNER, K. BONDI & H. RAHN. 1970. Acid-base balance in cold-blooded vertebrates as a function of temperature. *Am. J. Physiol.* 218: 600-606.

JACKSON, D. C., S. E. PALMER & W. L. MEADOW. 974. The effect of temperature and CO2 breathing on ventilation and acid-base status of turtles. *Resp. Physiol.* 20: 131-146.

JOHNSON, J. W., D. S. RICHARD & R. A. WAGAMAN. 1990. The case for routine umbilical cord acid-base studies at delivery. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 162: 621-625.

KAPLAN, L. A. & A. PESCE. 1991. *Química Clínica. Técnicas de Laboratorio-Fisiopatología-Métodos de Análisis.* Ed. Médica Panamericana, Buenos Aires, pp 448-467.

PERRY, S. F., M. S. HASSWELL, D. J. RANDALL & A.P. FARREL. 1981. Branchial ionic uptake and acid-base regulation in the rainbow trout Salmo gairdneri. *J. Exp. Biol.* 92: 284-307.

RANDALL, D. J., S. F. PERRY & T. A. HEMING. 1982. Gas transfer and acid-base regulation in salmonids. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B(1): 93-103.

ROBERT, G. J. & D. J. RANDALL. 1975. The effects of changes in pH and PCO2 in blood and water on breathing in rainbow trout Salmo gairdneri. *Resp. Physiol.* 25: 235-245.

SHERRY, L., P. PERKINS & D. DUDLEY. 1990. Umbilical cord blood gas. Reference interval. *Clin. Chem.* 36(6): 1065-1068.

SMITH, H. W. 1963. *Principios de Fisiología Renal.* 2ª Ed.El Ateneo, Barcelona, España. pp 143-145.

SU-J. 1993. Evaluation of routine gas determinations in umbilical cord blood at cesarean section. *Nippon-Sanka-Fujinka-Sasshi,* 45(2): 141-147.

VINTZILEOS, A. M., J. EGAN & W.A. CAMPBELL. 1992. Asphyxia at birth as determined by cord blood pH measurements in preterm and term gestations: correlation with neonatal outcome. *J. Mater. Fet. Med.* 1: 7-18.

YEOMANS, E., R., J. C. HAUTH & L. C. GILSTRAP. 1985. Umbilical cord pH, PCO2 and bicarbonate following uncomplicated term, vaginal deliveries. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 152: 798-803.