

IONES EXTRACELULARES EN INVERTEBRADOS Y VERTEBRADOS ACUÁTICOS Y TERRESTRES DEL ORIENTE DE VENEZUELA

MARIO BELMAR¹, JULIO C. ARMAS¹, DANIEL BELMAR², WALLIS RIVEROS¹ & SORANA YEGRES³

¹ Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente.

² Laboratorio Clínico Universitario, Empresa Rental Sucre, Universidad de Oriente.

³ Departamento de Bioanálisis, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente.

RESUMEN: Se analizaron las concentraciones iónicas individuales (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y HCO_3^-) y los contenidos iónicos totales del plasma o fluidos extracelulares de 23 especies de invertebrados marinos y de agua dulce y en 25 especies de vertebrados acuáticos y terrestres del oriente venezolano, con el objeto de establecer los rangos de variación individual y los valores medios que puedan ser considerados como "normales" o valores de referencia para cada especie animal. En equinodermos se extrajo fluido celómico, en moluscos líquido intervalvar y en artrópodos se obtuvo hemolinfa a través de la membrana artrodial. En mamíferos se obtuvieron muestras de sangre venosa y en los restantes vertebrados por punción cardíaca directa. En general, el sodio y el cloruro fueron los iones más abundantes en el líquido extracelular y de los iones restantes la relación fue: magnesio > calcio > bicarbonato para muchos invertebrados y de bicarbonato > calcio > magnesio para los vertebrados. Los valores más altos para el contenido total de iones se encontró en *Ascidia nigra* (1.145 mM/l), el mejillón *Perna perna* (1.144 mM/l) y la pepitona *Arca zebra* (1.140 mM/l), todos hiperiónicos en relación al agua de mar del Golfo de Cariaco (1.090 mM/l). Los menores contenidos iónicos se encontraron en *Bufo granulosus* (221 mM/l) y en el teleosteo de agua dulce *Plecostomus watwata* (236 mM/l). Se discuten los mecanismos relacionados con la regulación iónica de estos organismos en base a las condiciones impuestas por el ambiente y a los procesos de control del agua y sales, específicos para cada especie animal.

ABSTRACT: Individual ionic concentrations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and HCO_3^-) and total ionic plasma or extracellular liquid concentrations were analyzed in 23 marine and fresh water invertebrates and 25 aquatic and terrestrial vertebrates from the eastern part of Venezuela, with the purpose of establishing individual variation ranges and mean values which could be considered as "normal" or reference values for each animal species. In echinoderms we extracted coelomic fluid, in molluscs intervalvar liquid and in arthropods we obtained hemolymph through the artrodial membrane. In mammals we obtained venous blood samples and in the other vertebrates samples were obtained by direct cardiac puncture. In general, sodium and chloride were the most abundant ions in extracellular liquids and for the other ions the relationship was: magnesium > calcium > bicarbonate for most invertebrates and bicarbonate > calcium > magnesium for vertebrates. The highest values for total ionic concentrations were found in *Ascidia nigra* (1,145 mM/l), the mussels *Perna perna* (1,144 mM/l) and in the bivalve *Arca zebra* (1,140 mM/l), all hyperionic in relation to sea water of the Golfo de Cariaco (1,090 mM/l). The lowest ionic contents were determined in *Bufo granulosus* (221 mM/l) and the fresh water teleost *Plecostomus watwata* (236 mM/l). Mechanisms related with the ionic regulation of these organisms are discussed on the basis of the conditions imposed by the environment and the water and salt control processes, specific for each animal species.

INTRODUCCION

Los líquidos corporales están constituidos por cantidades variables de solutos y de componentes iónicos, según la especie animal y el medio ambiente en que habita. En general, los iones más abundantes en el líquido extracelular son el sodio y el cloruro, mientras que en el interior de las células predomina el potasio y los fosfatos y, en algunos animales, otros solutos como la urea y el óxido de trimetilamina. Además, en ambos fluidos corporales existe cierta cantidad de otros elementos o compuestos iónicos, como el calcio, magnesio y bicarbonato.

El hecho de que el sodio sea el ión más abundante en el líquido extracelular y el potasio en el medio intracelular no significa, necesariamente, que sean los iones más importantes de estos compartimientos, ya que cada ión en particular, y en conjunto, desempeñan funciones fisicoquímicas cuya importancia no se puede jerarquizar. Sin embargo, como ambos cationes son los más abundantes en los líquidos corporales, son también los más importantes en el resguardo de la osmolaridad de éstos compartimientos hídricos. Aunque la participación de los restantes iones es mínima para el mantenimiento de la osmolaridad total extra e intracelular, desempeñan un

papel importante en el funcionamiento de otros procesos fisiológicos y, constantemente, su concentración está siendo estrechamente regulada. Por ejemplo, el calcio tiene una importante participación en el funcionamiento de los nervios y músculos, y su concentración en el líquido extracelular de estos tejidos es crítica para los procesos de neurotransmisión y contractibilidad muscular.

En la actualidad existe una extensa información acerca de los mecanismos de regulación hídrica, iónica y osmótica en diferentes especies de invertebrados y vertebrados acuáticos y terrestres. Estos estudios incluyen, de manera general, diferentes aspectos de la regulación iónica y osmótica, evidenciando los mecanismos de control extra e intracelulares del agua y sales mediante procesos de difusión pasiva, transporte activo de iones hacia el interior o exterior de las células o del organismo, actividades de comportamiento, adaptación o aclimatación a diferentes ambientes, variaciones iónicas en diversos procesos patológicos, etc., procesos facilitados por la actividad de algunas enzimas y controlados mediante la acción de diversas hormonas (CAMERON, 1975; PANG, 1977; SHOEMAKER, 1977; BARTON, 1979; BELMAR & BELMAR, 1979; ZANDERS, 1978, 1980a,b, 1981; ROMERO & ZANDERS, 1980; CASTILLE, 1981; DAVIS & STANLEY, 1983; EHRENFELD, 1984; LANGDON, 1984; BELMAR & BELMAR, 1987; SUTTON & DIRKS, 1986; HIDALGO & SÁNCHEZ, 1990; KAWAKAMI, 1991; BERNDT & KNOK, 1992; YURDAKOW, 1992; BELMAR *et al.*, 1996, etc.).

Los propósitos de este estudio fueron, por una parte, conocer los niveles iónicos individuales, los valores medios y los rangos de variabilidad fisiológica que podrían servir como valores de referencia, para algunos invertebrados y vertebrados que habitan en la región nororiental de Venezuela, y por otra, evidenciar si estos valores y sus mecanismos de regulación son similares o no a los comunicados para especies que viven en ecosistemas diferentes al de esta región.

MATERIALES Y METODOS

1. POBLACIÓN.

Los invertebrados marinos, los tunicados y los peces fueron capturados en el Golfo de Cariaco, frente a la ciudad de Cumaná, Estado Sucre y transportados al laboratorio en envases con aereación constante y agua del sitio de recolección.

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

Todos los organismos 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 recolección, y durante un período mínimo de 72 horas previo a la extracción de las muestras.

2. MUESTRAS.

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

En peces, anfibios, reptiles, aves y pequeños mamíferos se obtuvo muestras de sangre heparinizada por punción cardíaca directa y en los mamíferos de mayor desarrollo se extrajo sangre por punción de las venas superficiales.

Todas las muestras fueron de inmediato introducidas en un microanalizador de pH y gases fisiológicos, con el objeto de determinar la concentración de los iones bicarbonato. La sangre o fluido extracelular remanente en la jeringa fue posteriormente centrifugada a 2000 rpm durante 10 min, el líquido sobrenadante separado por aspiración, depositado en tubos de polietileno, sellados y refrigerados hasta el momento de efectuar las determinaciones de los iones extracelulares.

3. TÉCNICAS

Los iones sodio y potasio fueron determinados por fotometría de llama, según el procedimiento de BELMAR & REY DE VIÑAS (1971). Los iones calcio y magnesio fueron valorados por espectrofotometría, de acuerdo a los métodos de SAKAR & CHAUAN (1967) y de MERCK (1977), respectivamente. Los iones cloruro se cuantificaron por el método mercurimétrico de SCRIBNER & BELDING (1970) y los iones bicarbonato fueron determinados en un microanalizador de pH y gases sanguíneos Corning mod. 165/2 o Ciba Corning mod. 238.

RESULTADOS

Los valores medios y desviaciones estándares de la concentración de los iones extracelulares determinados en 23 especies de invertebrados marinos, de agua dulce y semi-terrestres, se anotan en la Tabla 1, junto a las concentraciones iónicas del agua de mar del Golfo de Cariaco (salinidad 36.5 ‰) y del río Manzanares (salinidad 0.44 ‰).

En general, los celenterados, equinodermos, moluscos, tunicados y artrópodos marinos presentan valores medios de los iones individuales bastante cercanos o similares a los del ambiente marino, aún cuando es posible evidenciar una discreta hiperionicidad en *Holothuria sp.*, *Perna perna*, *Arca zebra*, *Crassostrea virginica* y el tunicado *Ascidia nigra*. La hiperionicidad es más evidente para los iones sodio, magnesio y cloruro.

TABLA 1. Iones extracelulares en invertebrados marinos, de agua dulce y semiterrestres. Valores medios ($\pm$ D.S.) en mM/l. N= número de ejemplares.

ESPECIES	N	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	CO ₃ H	[Total]
CELENTEREOS								
<i>Condylactis gigantea</i>	21	463(19,4)	12,4(1,9)	10,2(1,6)	48,5(4,2)	548(29,8)	0,2(0,1)	1.082
Agua de mar (sal. 36.5‰)	17	495(15,0)	10,3(0,7)	11,3(0,8)	42,0(1,8)	528(6,4)	3,3(0,2)	1.090
EQUINODERMOS								
<i>Holothuria sp.</i>	29	541(54,8)	14,4(1,9)	11,4(1,2)	52,6(3,8)	498(14,2)	0,2(0,1)	1.118
<i>Lytechinus variegatus</i>	30	450(11,7)	9,6(0,5)					
<i>Echinaster lucunter</i>	35	467(13,1)	10,1(2,2)	10,2(1,8)	50,4(4,5)	522(18,4)	0,3(0,1)	1.060
<i>Clypeaster subdepressus</i>	29	505(41,4)	12,1(1,3)	10,8(1,6)	49,6(5,2)	525(48,9)	0,8(0,2)	1.103
MOLUSCOS								
<i>Perna perna</i>	34	507(33,1)	11,9(1,3)	12,3(1,2)	48,2(4,5)	564(45,4)	0,7(0,3)	1.144
<i>Arca zebra</i>	33	496(39,0)	15,4(1,8)	14,7(3,6)	47,3(6,2)	565(49,4)	1,2(0,3)	1.140
<i>Crassostrea virginica</i>	35	509(10,8)	12,6(1,4)	12,1(2,6)	52,5(4,6)	540(34,2)	1,5(0,5)	1.128
<i>Tridacna striatula</i>	34	472(36,6)	10,9(1,9)			548(27,5)	0,2(0,1)	
<i>Pinetia imbricata</i>	33	546(41,4)	12,2(2,3)			521(18,7)	7,6(1,0)	
<i>Lima scabra</i>	28	533(27,8)	15,0(1,5)			562(33,1)	0,5(0,2)	
<i>Aplysia sp.</i>	34	504(32,2)	9,8(3,2)	12,6(2,1)	48,3(4,6)	546(19,4)	1,1(0,4)	1.122
<i>Septentaria septentaria</i>	75	474(25,2)	14,5(3,3)	8,1(0,3)	52,6(3,8)	505(26,4)	1,3(0,8)	1.056
<i>Maria carinata</i>	33	57,3(1,8)	6,3(1,5)			39,4(4,7)	0,6(0,1)	
TUNICADOS								
<i>Ascidia nigra</i>	34	538(19,3)	11,9(2,1)	9,9(3,8)	53,2(7,8)	532(12,7)	0,4(0,1)	1.145
<i>Pyura vitata</i>	33	497(10,8)	10,3(0,7)	12,6(1,2)	58,4(5,3)	516(10,8)	0,5(0,2)	1.102
ARTROPODOS								
<i>Callinectes ornatus</i>	35	423(27,7)	9,1(1,4)	17,4(1,3)	52,5(6,0)	476(37,6)	9,3(3,7)	987
<i>Cardium guianense</i>	42	318(21,6)	6,3(1,5)	16,3(2,4)	49,0(5,4)	332(24,3)	19,3(4,6)	741
<i>Uca rapax</i>	32	353(32,7)	10,0(2,5)	14,2(3,2)	44,3(6,4)	359(40,9)	16,1(4,3)	796
<i>Callinectes danae</i>	42	534(32,7)	10,9(1,9)			531(29,3)	19,9(4,9)	
CRUSTACEOS DE AGUA DULCE								
<i>Atya scabra</i>	30	183(16,2)	7,0(2,3)	8,3(1,4)	5,6(1,8)	109(12,3)	5,8(1,6)	318
<i>Macrobrachium americanum</i>	32	142(14,4)	3,8(1,2)	6,4(1,2)	3,4(1,2)	141(15,1)	8,0(1,5)	305
<i>Pseudoscorpion sp.</i>	35	119(13,1)	4,5(1,1)			106(9,3)	13,1(1,5)	
Agua dulce (sal. 0.44‰)		0,44	0,04	2,3	0,6	0,02	3,4	

De manera similar, los crustáceos de agua dulce son notoriamente hiperiónicos en relación a su ambiente externo para todos los parámetros determinados en estos animales.

La concentración iónica total calculada para 21 especies acuáticas (Fig. 1) demuestra, similarmente, la ligera condición hiperiónica en varias especies de invertebrados marinos. Es necesario señalar que el contenido total de iones

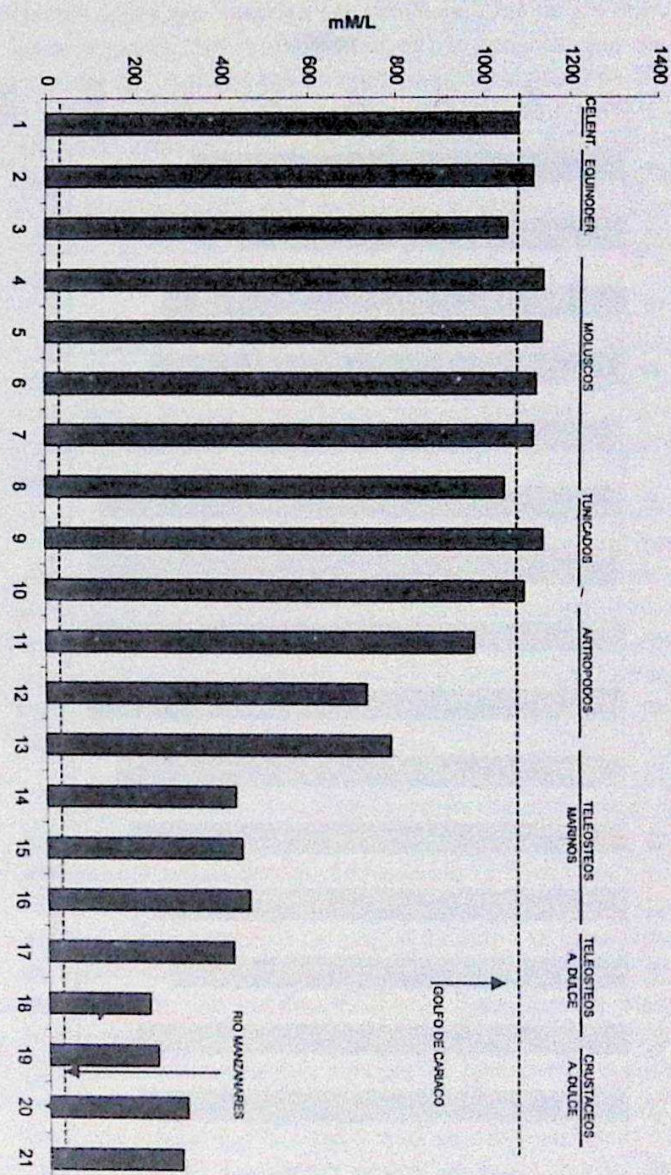


FIGURA 1. Concentraciones iónicas totales de 21 especies en comparación a las de su medio ambiente: 1. *C. gigantea*; 2. *Holothuria sp.*; 3. *E. lucunter*; 4. *P. perna*; 5. *A. zebra*; 6. *C. virginica*; 7. *Aplysia sp.*; 8. *S. septioidea*; 9. *A. nigra*; 10. *P. vitata*; 11. *C. ornatus*; 12. *C. guianense*; 13. *U. rapax*; 14. *A. herzogii*; 15. *T. lathami*; 16. *A. rhomboidalis*; 17. *S. mossambicus*; 18. *P. natunata*; 19. *Ch. antillarum*; 20. *A. scabra*; 21. *M. carinus*.

extracelulares anotados en las Figs. 1 y 2 corresponden a la sumatoria de los valores medios individuales de los iones sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y bicarbonato en mM/L, es decir, a los cationes y aniones más importantes en el resguardo de la osmolaridad extracelular en estos organismos.

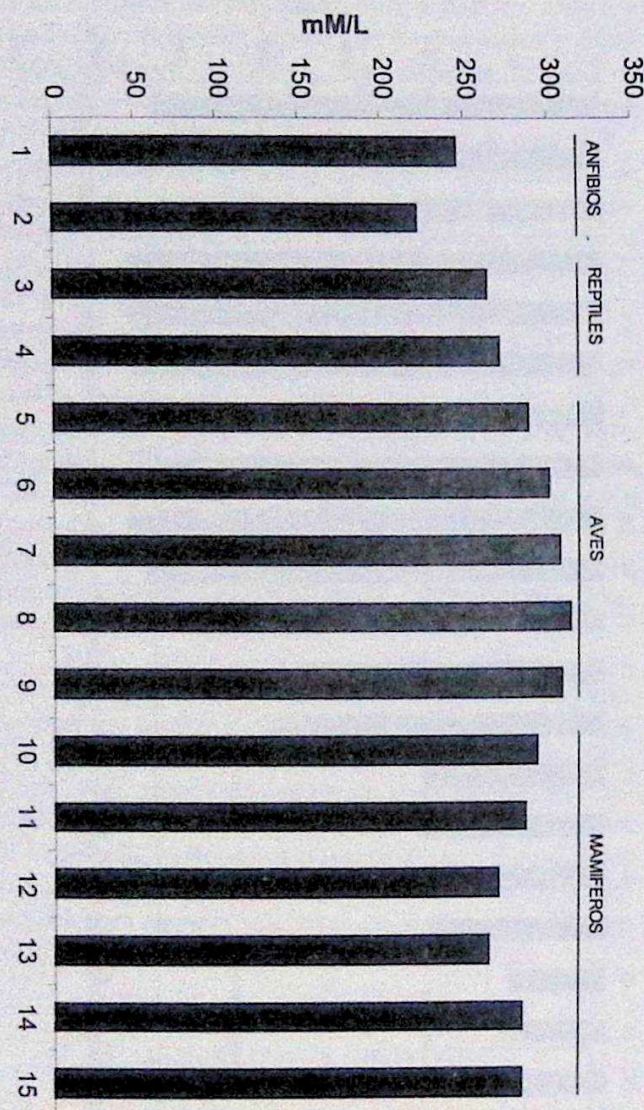


FIGURA 2. Concentraciones iónicas totales (mM/L) en 15 especies de vertebrados terrestres: 1. *B. marinus*; 2. *B. granulatus*; 3. *I. iguana*; 4. *T. sculpia*; 5. *C. domesticus*; 6. *G. gallus*; 7. *C. coturnix*; 8. *A. americana*; 9. *Q. laqueus*; 10. *M. musculus*; 11. *R. norvegicus*; 12. *O. cuniculus*; 13. *F. domesticus*; 14. *C. familiaris*; 15. *H. sapiens*.

Además, se observa que los artrópodos y especialmente los teleósteos marinos, muestran contenidos iónicos totales muy inferiores a los correspondientes al agua de mar, lo cual evidencia que sus fluidos extracelulares son hipoiónicos con respecto a su medio externo. De manera inversa, los teleósteos y crustáceos de agua dulce muestran una elevada hiperionidad en comparación a su medio ambiente, tanto para los valores individuales como para el contenido total de iones de su medio interno.

En vertebrados acuáticos y terrestres se observan valores iónicos individuales más elevados para los teleósteos marinos, seguido de aves, mamíferos y reptiles, en tanto que los anfibios muestran los valores medios más bajos para estos parámetros (Tabla 2). Igual comentario se puede hacer para las concentraciones iónicas totales del fluido extracelular de estos animales (Fig. 2)

TABLA 2. Iones extracelulares en vertebrados acuáticos y terrestres. Valores medios ($\pm$ D.S.) en mM/L N = número de ejemplares.

ESPECIES	N	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ H ⁻	[Total]
TELEOSTEOS								
<i>Aras bergeri</i>	34	247(20,9)	7,9(3,1)	5,3(0,7)	3,1(1,9)	166(11,2)	7,2(3,6)	437
<i>Trachurus lathami</i>	38	236(21,2)	6,2(1,1)	5,8(0,9)	4,2(0,8)	187(13,3)	11,3(4,6)	451
<i>Diplodus formosus</i>	29	262(21,8)	6,8(4,1)			135(4,3)	12,0(3,9)	
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	34	249(23,2)	9,1(4,6)	3,9(0,3)	2,4(1,2)	190(19,7)	12,1(1,9)	467
<i>Sarotherodon mosambicus</i> (agua salobre)	30	202(7,8)	3,5(0,4)	4,8(0,8)	3,3(0,7)	204(19,2)	10,6(3,2)	428
<i>Platydomus zosterata</i> (agua dulce)	35	122(10,3)	4,8(1,3)	4,6(1,2)	2,1(0,7)	92(9,8)	7,1(2,3)	233
<i>Chalomycterus antillarum</i> (agua dulce)	27	133(9,3)	2,4(0,3)	4,2(1,1)	2,3(0,8)	101(5,1)	7,6(1,8)	251
ANFIBIOS								
<i>Bufo marinus</i>	35	119(12,1)	5,6(1,8)	2,2(0,3)	1,4(0,2)	98(8,1)	18,5(3,7)	245
<i>Bufo granulatus</i>	28	21(12,3)	5,2(1,3)	2,6(0,4)	1,7(0,4)	75(6,7)	15,1(3,3)	221
REPTILES								
<i>Iguana iguana</i>	41	137(8,6)	5,2(1,1)	3,3(0,8)	1,2(0,3)	97(6,7)	19,7(4,8)	263
<i>Tettido sculpia</i>	26	123(4,5)	6,4(1,2)	2,1(0,3)	1,7(0,4)	110(4,3)	26,5(2,3)	270
AVES								
<i>Columba domesticus</i>	32	149(11,6)	4,9(0,8)	2,6(0,3)	1,9(0,2)	99(5,1)	29,4(4,3)	287
<i>Gallus gallus</i>	28	159(9,0)	4,4(0,4)	2,8(0,4)	1,2(0,2)	106(8,2)	26,4(5,2)	299
<i>Coturnix coturnix</i>	32	166(5,3)	4,9(0,5)	3,2(0,2)	1,3(0,3)	98(8,1)	32,6(6,1)	306
<i>Scolopelia squarvata</i>	24	167(11,6)	4,0(0,6)			102(9,1)	20,3(5,6)	
<i>Anas americana</i>	26	161(9,0)	3,6(0,8)	2,0(0,3)	1,6(0,2)	124(9,1)	19,4(2,8)	312
<i>Quiscalus lugubris</i>	25	163(3,9)	3,5(0,3)	2,1(0,4)	1,4(0,3)	116(9,4)	20,8(3,9)	307
<i>Pelecanus occidentalis</i>	26	226(9,5)	3,6(0,3)	2,8(0,6)	1,3(0,4)	147(0,8)	16,3(1,3)	397
MAMÍFEROS								
<i>Mus musculus</i>	35	155(5,8)	5,3(0,4)	3,1(0,3)	1,2(0,3)	110(10,7)	17,7(6,2)	292
<i>Rattus norvegicus</i>	31	145(2,8)	4,5(0,7)	2,4(0,5)	0,9(0,3)	104(2,9)	27,9(3,4)	285
<i>Oryzomys latipes</i>	23	141(3,2)	3,4(0,6)	3,3(0,5)	0,8(0,2)	102(5,0)	18,8(2,8)	269
<i>Dasyprocta rubrata</i>	28	140(5,5)	6,4(0,8)	3,9(0,4)		111(3,1)	22,3(3,0)	
<i>Felis domesticus</i>	28	131(8,7)	3,4(0,3)		1,0(0,4)	101(3,5)	22,6(2,1)	263
<i>Canis familiaris</i>	28	147(5,2)	3,8(0,3)	3,3(0,4)	1,2(0,2)	109(5,2)	19,2(3,2)	283
<i>Homo sapiens</i>	65	143(4,8)	4,6(0,3)	2,6(0,2)	0,9(0,2)	102(6,1)	27,9(3,8)	283

DISCUSION

En general, los mecanismos de regulación hídrica, iónica y osmótica desarrollados por los animales acuáticos y terrestres consisten en respuestas adaptativas o compensatorias frente a las condiciones impuestas por el medio ambiente y a factores intrínsecos, propios de cada especie animal.

Entre los invertebrados marinos mas primitivos, los celenterados no poseen mecanismos especiales para controlar la concentración iónica total ni la de los iones específicos, los cuales son factores críticos que, consecuentemente, limitan su distribución exclusiva al ambiente marino. Generalmente son organismos poiquilismóticos y para mantener su equilibrio con el ambiente externo captan agua y expulsan sales. *Condylactis gigantea* muestra tener algo más de potasio, magnesio y cloruro que el agua de mar, en tanto que el contenido de iones sodio y de calcio es ligeramente inferior a la de su medio ambiente (Tabla 1). Estas limitadas posibilidades para controlar algunos iones específicos impide a la especie vivir en zonas que estén fuera de sus límites de tolerancia, es decir, en salinidades diferentes a las del ambiente marino.

Aún cuando los equinodermos muestran una organización más bien simple y poseen un sistema vascular-acuífero, su aparato circulatorio es casi totalmente ineficaz. Su capacidad para regular el ingreso y salida de agua y de sales es muy limitada (PROSSER & BROWN, 1968). Los equinodermos incluidos en este estudio, aparentemente isosmóticos con su medio ambiente, muestran poseer cierto control sobre algunas especies iónicas. Así, *Holothuria* sp. posee en su fluido celómico valores para el sodio, potasio y magnesio ligeramente más elevados que los del agua de mar. De igual manera, *Clypeaster subdepressus* tiene cantidades relativamente mayores de estos mismos iones en comparación con los del ambiente marino. Estos hallazgos permiten señalar que, a pesar de que los equinodermos y muchos invertebrados marinos han sido siempre considerados como organismos osmoadaptados (GOLDSTEIN, 1981), demuestran cierta capacidad para controlar el ingreso selectivo de algunos iones. De todas maneras, estas capacidades aparentemente no están suficientemente desarrolladas como para permitirles invadir otros ambientes como estuarios y aguas salobres, por lo que están restringidos exclusivamente a los hábitculos marinos.

En algunas especies de moluscos se demuestra una ligera hiperionidad con respecto al agua de mar, la cual es más notoria para los iones Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Cl^- . Aún cuando estos organismos son también osmoconformadores, mantienen una ligera condición hiperiónica de sus fluidos internos en relación al medio ambiente. Las fluctuaciones iónicas individuales en algunas especies - comparadas con la estabilidad del agua de mar - permiten suponer que algunas de estas especies posean mecanismos de control para ciertos iones que podrían ser similares a los de los animales superiores. Sin embargo, se puede apreciar que en la mayoría de los moluscos existen muchas semejanzas entre la composición iónica de sus fluidos extracelulares y la de su medio ambiente, lo cual es frecuente en animales que habitan ambientes hiperosmóticos, ya que de esta manera minimizan sus problemas de regulación hídrica y osmótica, evitando la deshidratación continua por pérdida de agua a través de sus superficies permeables.

Es necesario señalar también que en algunos de estos organismos se vislumbra ya el inicio de la regulación acidobásica, lo cual se evidencia por las pequeñas concentraciones de iones bicarbonato presentes en sus líquidos extracelulares (Tabla 1).

Los tunicados *Ascidia nigra* y *Pyura vitatta* son, de igual manera, organismos osmoadaptados, manteniendo una ligera condición hiperiónica con relación al ambiente marino. De acuerdo a estos resultados, ambas especies no poseen capacidad de regulación iónica activa, lo cual también restringe su distribución exclusivamente a zonas de agua salada.

Algunos crustáceos marinos poseen mecanismos de regulación para iones específicos. Así, *Callinectes ornatus* aparentemente regula las concentraciones de iones Na^+ , K^+ y Cl^- , los cuales mantiene por debajo de los niveles de estos mismos iones presentes en el agua de mar y, de igual manera, la concentración iónica total es algo menor a la del medio ambiente. En cambio, *Callinectes danae*, especie marina perteneciente al mismo género, presenta valores medios para estos iones que son similares o ligeramente superiores a los del agua salada. De acuerdo con estas diferencias, se puede inferir que *C. ornatus* sería un organismo con cierta capacidad de regulación iónica, en tanto que *C. danae* debe ser considerada como especie osmoconformadora, debido a que no posee las potencialidades requeridas para controlar la concentración de sales en su compartimiento extracelular.

Mayores capacidades para la regulación iónica se observan en los cangrejos semiterrestres *Cardisoma guanhumi* y *Uca rapax*, los cuales mantienen sus fluidos corporales con menores concentraciones iónicas que las del agua de mar. En los crustáceos decápodos el balance de agua y sales es mantenido mediante la acción conjunta de las branquias, intestino y saco pericárdico, demostrando una considerable capacidad para la regulación iónica, hídrica y osmótica (BLISS, 1968; ZANDERS, 1980 a, b).

La regulación de los niveles iónicos individuales en la hemolinfa es efectuada por absorción activa de iones desde el medio ambiente, principalmente a través de las branquias (SMITH & LINTON, 1971) y la excreción a través de la glándula antenal de los iones sulfatos y magnesio, que son extraídos desde la hemolinfa y eliminados junto con otros productos de desecho y el exceso de agua (ZANDERS, 1978). El mismo autor (1980b, 1981) demostró que la distribución de iones Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Cl^- entre la hemolinfa y el medio ambiente es principalmente de tipo pasivo, infiriendo que además de la capacidad para mantener los niveles óptimos de estos iones en el medio extracelular, el ingreso selectivo de diversas especies iónicas puede jugar un importante papel en la regulación del balance acidobásico de estas especies.

El análisis de los datos expuestos para los invertebrados marinos demuestra, en consecuencia, una ausencia casi total de regulación acidobásica en los organismos menos evolucionados, la cual es evidente sólo a partir de los artrópodos y crustáceos de agua dulce, los cuales muestran importantes niveles de iones bicarbonato en sus fluidos extracelulares. Posiblemente, las células respiratorias de las branquias están involucradas en el control acidobásico mediante procesos de intercambio de iones H^+ o NH_4^+ de los animales por iones Na^+ del medio externo, y de iones HCO_3^- del líquido extracelular por iones Cl^- del medio acuoso, como ha sido sugerido para otras especies acuáticas de respiración branquial (CAMERON & RANDALL, 1972; ROBERTS, 1975; PERRY *et al.*, 1981; CAMERON *et al.*, 1983).

Los crustáceos dulceacuícolas muestran sus fluidos internos hiperiónicos con relación al medio ambiente. Contrariamente a los animales marinos, estos organismos están expuestos continuamente a la inundación osmótica de agua (sobrehidratación) y a la pérdida de electrolitos hacia el medio externo (HOAR, 1978). Los crustáceos y peces de

agua dulce enfrentan estas dificultades ya sea disminuyendo la permeabilidad para el agua en las membranas expuestas directamente al ambiente, aumentando la eliminación del exceso de agua a través de los órganos de excreción, o incrementando la captación de sales desde el agua dulce mediante el desarrollo de bombas salinas en las branquias, que captan los iones desde el medio más diluido en contra de gradientes químicos o eléctricos.

En síntesis, los invertebrados acuáticos y semi-terrestres más avanzados demuestran poseer ciertas potencialidades y capacidades para el control del balance iónico, del volumen hídrico y del equilibrio acidobásico, lo cual, obviamente, les ha permitido invadir y colonizar con relativo éxito el agua dulce y el ambiente terrestre.

Los teleósteos marinos mantienen sus contenidos iónicos individuales en cifras muy inferiores a las del agua de mar. De igual manera, el contenido total de iones extracelulares alcanza, aproximadamente a sólo un 40-45% de la del ambiente salino. Esto significa que a pesar de vivir en un medio más concentrado de sales que la de sus líquidos corporales, poseen la capacidad necesaria para mantenerse hipoiónicos con respecto al medio, controlando eficazmente cada especie iónica y evitando la deshidratación a la cual están constantemente expuestos.

Para enfrentar los problemas impuestos por el medio ambiente, los teleósteos marinos han desarrollado diversos mecanismos de control homeostático, que incluyen: la ingestión continua de agua de mar, la absorción de agua y de la mayor parte del cloruro de sodio en el intestino, en tanto que la mayor parte de los iones bivalentes casi no son absorbidos. El exceso de cloruro de sodio ingerido es eliminado por las branquias, mediante procesos de transporte activo en la "células de cloruro", con lo cual obtienen agua libre de solutos (GOLDSTEIN, 1981).

Bufo marinus y *B. granulosus* mantienen su balance hidrosalino absorbiendo agua y sales a través de la piel y reteniéndolas en la vejiga urinaria. La orina formada en los riñones pasa a la vejiga donde es modificada antes de ser eliminada del cuerpo. De tal modo, en los anfibios terrestres la vejiga sirve como depósito de agua, al mismo tiempo que conserva la sal. Los mecanismos implicados en este control son dirigidos, principalmente, por la aldosterona, de acuerdo a lo sugerido por HILL (1980).

Los animales que viven sobre la superficie terrestre están continuamente expuestos a la pérdida de agua. Para enfrentar estos problemas en los animales terrestres han evolucionado varios mecanismos homeostáticos y de comportamiento. Así, muchos animales previenen las pérdidas de agua disminuyendo la permeabilidad de las superficies corporales expuestas directamente al ambiente, o disminuyendo las pérdidas de agua por la orina, como lo hacen muchos mamíferos del desierto.

Cuando los animales terrestres evolucionaron desde sus ancestros, los anfibios, y abandonaron el ambiente acuático, sus riñones se modificaron para disminuir las pérdidas de agua por la orina (HOAR, 1978). En los animales terrestres el riñón es principalmente responsable de la eliminación del exceso de sales ingerido con los alimentos, del control del volumen y osmolaridad de los fluidos corporales, del balance acidobásico y de la excreción de catabolitos nitrogenados.

Los vertebrados terrestres mantienen, además, una relativa constancia de su composición iónica regulando el ingreso y las pérdidas de agua mediante el comportamiento de beber, desarrollado especialmente en aves y mamíferos y controlado en gran parte por el centro hipotalámico de la bebida. De igual manera, la regulación es efectuada mediante cambios de permeabilidad de la piel, mecanismo desarrollado especialmente en los anfibios, o controlando la excreción de agua y sales por el riñón o también por vías extrarrenales como el tubo digestivo y las glándulas de secreción salina de muchos reptiles y aves marinas. Estos procesos de regulación hidrosalina son, a su vez, controlados por diversas hormonas, como la aldosterona, la hormona antidiurética y la prolactina.

Los resultados de este estudio señalan, además, que estos animales poseen concentraciones iónicas individuales y totales ligeramente superiores a las señaladas para especies que habitan otros ecosistemas (SHOEMAKER, 1977; HOAR, 1978; BARTON, 1979; CASTEJÓN *et al.*, 1979). Es posible inferir que la causa de esta discreta hiperionidad sea inducida por efecto de la mayor temperatura ambiente durante cada ciclo anual en las zonas tropicales y subtropicales, que conllevaría a una mayor pérdida de agua por evaporación durante la sudoración de algunos animales, el jadeo de otros o la vibración gular de las aves terrestres, procesos que constituyen en sí mecanismos de disipación de calor.

Estos datos experimentales sugieren, además, que tanto los invertebrados como los vertebrados de la región nororiental de Venezuela utilizarían mecanismos, para el control hidrosalino similares o muy parecidos a los comunicados para especies que habitan en otras latitudes y condiciones climatológicas diferentes a las de nuestro país, diferenciándose solamente en la hiperionidad de algunas especies acuáticas con respecto a su medio ambiente.

Finalmente, se sugiere que este estudio podría ser considerado como una primera aproximación a los valores de referencia para los parámetros iónicos de estos animales y una contribución al conocimiento actual de los procesos que modulan y controlan la composición iónica y el volumen hídrico extracelular de los animales acuáticos y terrestres de esta región del país.

AGRADECIMIENTO

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

REFERENCIAS

- BARTON, M. 1979. Serum osmoregulation in two species of estuarine Blennoids *Anoplarchus purpurens* and *Pholis ornata*. *Comp. Biochem. Physiol.* 64A: 305-307.
- BELMAR, M. & J. L. REY DE VIÑAS. 1971. Temperatura corporal y catecolaminas. *Ann. Real Acad. Farmac.* 37(2): 257-280.
- M. & W. BELMAR. 1979. Osmorregulación en ambientes marinos. *Laguna* 43-44:25-30.
- D. BELMAR, W. RIVEROS & L. MALAVÉ. 1996. Metodología para la investigación de trastornos electrolíticos en sangre y orina. *Saber* 8(2): 63-69.
- 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.

- BERNDT, T. & F. KNOX. 1992. Renal regulation of phosphate excretion. En: *The Kidney: Physiology and Pathophysiology*. Second edition D.W. Selding Raven Press Ltd., New York, 1515-1526.
- BLISS, D. E. 1968. Transition from water to land in decapoda crustaceans. *Amer. Zool.* 18:355-392.
- 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.
- & N. HEISSLER. 1983. Studies of ammonia in the rainbow trout: physico-chemical parameters, acid-base behaviour and respiratory clearance. *J. Exp. Biol.* 64 (1-3): 711-725.
- CASTILLE, F. 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 68A: 75-80.
- CASTEJÓN, F., A. FRAILE & F. PONS. 1979. *Fisiología Animal*. Ed. Universidad de Navarra, S.A Pamplona, España, 562 pp.
- DAVIES, J. & H. STANLEY. 1983. Seasonal variation in Na-K ATPase in tissues of field acclimatized woodrats *Noctoma pelida*. *Comp. Biochem. Physiol.* 76A: 115-121.
- EHRENFORD, J. 1974. Aspects of ionic transport mechanisms in crayfish *Astacus leptodactylus*. *J. Exp. Biol.* 61:57-70.
- GOLDSTEIN, L. 1981. *Fisiología Comparada*. Nueva Ed. Interamericana, México, D.F. 456 pp.
- HIDALGO, C. & P. SÁNCHEZ. 1990. Determinación de sodio y potasio en heces de lactantes con diarrea aguda. *Bol. Med. Hosp. Infantil, México* 38(2): 203-209.
- HILL, R. W. 1980. *Fisiología Animal Comparada*. Ed. Omega, Barcelona, España, 901 pp.
- HOAR, W. S. 1978. *Fisiología General y Comparada*. Ed. Omega, Barcelona, España, 855 pp.
- KAWAKAMI, E. 1991. Physiology of intestinal transport of electrolytes. *Arg. Gastroenterol.* 28(3): 107-113.
- LANGDON, J. 1984. Response of the gill Na-K ATPase activity, succinic dehydrogenase activity and chloride cells to saltwater adaptation in atlantic salmon, *Salmo salar* L. parr and smolt. *J. Fish Biol.* 24:323-331.
- MERCK, E. 1977. *Diagnostica Merck*, Darmstadt, Alemania, 122 pp.
- PANG, P. 1977. Osmoregulation in Elasmobranchs. *Amer. Zool.* 17:365-377.
- PERRY, S. F., M.S. HASWELL, 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.
- PROSSER, C. L. & F. A. BROWN. 1968 *Fisiología Comparada*. 2ª Ed. Interamericana, S.A. México, 728 pp.
- ROBERT, G. J. & D. J. RANDALL. 1975. The effect of changes in pH and PCO₂ in blood and water on breathing in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Resp. Physiol.* 25:235-245.
- ROMERO, C. O. & P. ZANDERS. 1980. Mecanismos de aclimatación del cangrejo *Goniopsis cruentata* a cambios iónicos en el medio. *Acta Cient. Venezol.* 31: 455-463.
- SAKAR, R. & B.C. CHAUAN. 1967. O-cresolfalein complex without desproteinization. *Anal. Biochem.* 20:155.
- SCRIBNER, R. & S. BELDING. 1970. Determination of chloride in the blood. *Proc. Sraff Meeting Mayo Clin.* 25:209-212.
- SHOEMAKER, V. 1977. Osmoregulation in Amphibians and Reptiles. *Ann. Rev. Physiol.* 39: 349-371.
- SMITH, D. H. & R. LINTON. 1971. Potentiometric evidence for the active transport of sodium and chloride across the excised gill of *Callinectes sapidus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 38:367-378.
- SUTTON, R.A. & J.H. DIRKS. 1986. Renal handling of calcium, phosphate and magnesium. En: *The Kidney*.

Ed. B.M. Brenner, W.B Saunders Co. Phildelphia, 432-436.

YURDAKOW, K & G. ORAN. 1992. The relationship between glucose and serum electrolyte levels in children with acute diarrhoea. *Turk. J. Pediatric*. 34(3): 142-152.

ZANDERS, P. 1978. Regulation of blood ions in *Carcinus maenas* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 60:293-302.

——— 1980a. The control of magnesium and sulphate excretion in *Carcinus maenas* (L.) *Comp. Biochem. Physiol.* 66A: 69-76.

——— 1980b. Regulation of blood ions in *Carcinus maenas* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 65A: 97-108.

——— 1981. Control of the dynamics of ionic balance in *Carcinus maenas* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 70A: 457-468.