

COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS, HEMOGASODINÁMICOS, ELECTROLÍTICOS Y PROTEÍNAS TOTALES EN *Rynchops niger*, *Columbina squammata* y *Coturnix coturnix japonicus* [Aves]

COMPARISON OF HEMATOLOGICAL, HEMOGASODYNAMIC, ELECTROLYTIC, AND TOTAL PROTEIN PARAMETERS IN *Rynchops niger*, *Columbina squammata* AND *Coturnix coturnix japonicus*

RENNY ALZOLA^{1,2} JORGE MUÑOZ^{1,3} GEDIO MARÍN¹, MAIRIN LEMUS^{1,3}

Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias

¹Departamento de Biología

²Postgrado de Biología Aplicada

³Centro de Investigaciones Ecológicas Guayacán

jomunozg@yahoo.es

RESUMEN

Se compararon los parámetros hematológicos, electrolíticos, hemogasodinámicos y proteínas totales en *Rynchops niger* (Rynchopidae), *Columbina squammata* (Columbidae), *Coturnix coturnix japonicus* (Phasianidae). La extracción de la sangre se hizo por punción cardiaca directa; para determinar electrolitos intramusculares se tomó una porción de músculo pectoral. La hemoglobina fue cuantificada por el método de la cianometahemoglobina. El hematocrito se realizó en tubos capilares heparinizados, centrifugando a 7000 r.p.m durante 5 min. El conteo globular se determinó en una cámara de Neubauer. Los índices hematimétricos (VCM, HbCM, CHbCM) fueron calculados según Fisher (1958) y Castejón (1970). Los iones Na⁺ y K⁺ se determinaron por fotometría de llama de lectura directa, y el Cl⁻, por titulación mercurimétrica; mientras los de Ca⁺ y Mg⁺ fueron cuantificados en un fotómetro de absorción atómica. La determinación de los iones intramusculares y plasmáticos fue similar, sólo que, previo a las diluciones, se realizó una digestión del tejido con ácido nítrico 70% en tubos de Kjendall. La determinación gasométrica se realizó con un microanalizador de pH y gases sanguíneos. Las proteínas totales del plasma fueron cuantificadas por el método de Lowry. Se obtuvieron diferencias significativas en los valores hematológicos, presentando *R. niger* los mayores valores promedios, y no se encontraron diferencias significativas para Na⁺, K⁺ y Cl⁻, ni en los gases sanguíneos. las proteínas totales mostraron diferencias muy significativas. Estos resultados sugieren que las tres especies parecen tener mecanismos de regulación similares y que la variación en los parámetros hematológicos pudiera obedecer, en parte, a los hábitos alimentarios y ritmos circadianos diferentes en las tres especies.

PALABRAS CLAVE: *R. niger*, *C. squammata*, *C. c. japonicus*, hematología, gases, electrolíticos, proteínas.

ABSTRACT

This paper reports on the physiological variability ranges of the hematological and electrolytic parameters as well as blood gas, and total protein counts in specimens of *Rynchops niger* (Rynchopidae), *Columbina squammata* (Columbidae), and *Coturnix coturnix japonicus* (Phasianidae). Blood extraction was practiced by direct heart puncture. Individuals were sacrificed and a portion of pectoral muscle was extracted to determine intramuscular electrolytes. Hemoglobin was quantified by means of the cyanometahemoglobin method Hematocrit was measured in heparinized capillary tubes, centrifuged at 7000 r.p.m for 5 minutes. Globular count was determined in a Neubauer camera. Hematimetric indices (VCM, HbCM, CHbCM) were calculated according to Fisher (1958) and Castejón (1970). Na⁺ and K⁺ ions were determined by direct reading of photometer flame. Cl⁻ ions were determined by mercurymetric titration. Ca⁺ and Mg⁺ ions were quantified by atomic absorption spectrophotometry. Intramuscular ions were determined in a similar fashion, but only after the muscle tissue had been digested with 70% nitric acid in Kjendall tubes. Blood gases were measured in a pH and blood gas microanalyzer. Total proteins in plasma were quantified by the Lowry method. Significant differences were found in the hematological values, *R. niger* presenting the highest mean values. No significant statistical differences were found in Na⁺, K⁺, Cl⁻, or blood gases. Total proteins showed very significant differences. These results suggest that the three species seem to have similar regulation mechanisms, and that the variation in the hematological parameters is partially due to the different feeding habits and to the dissimilar circadian activity of the three species.

KEY WORDS: *R. niger*, *C. squammata*, *C. c. japonicus*, hematology, blood gases, electrolytes, proteins

INTRODUCCIÓN

A través de la determinación de los parámetros hematológicos, electrolíticos y gases sanguíneos, se puede determinar la condición fisiológica de cualquier organismo en un momento determinado, debido a que la sangre es el elemento clave en la interrelación de los diferentes tejidos, ya que entra en contacto con todos ellos a través de la red cardiovascular (Baumann y Barman 1977; Sturkie 1986). En aves existen varios factores, tales como ambiente, sexo, actividad física, alimentación y efectos del crecimiento que tienen una influencia marcada sobre los parámetros sanguíneos (Siegel 1980; Fourie y Hatting 1980). Así, la actividad física desplegada, por ejemplo, durante el vuelo y la búsqueda de alimento, es muy importante debido a que esto acarrea variaciones en el metabolismo y la actividad hormonal del organismo (Chang y Phillips 1973). Sin embargo, los parámetros fisiológicos se mantienen dentro de márgenes característicos para cada especie, lo que hace que éstos puedan ser utilizados como indicadores de tasa metabólica y salud (Lewandoski *et al.* 1986).

Los electrolitos ayudan a mantener la homeostasis corporal de los organismos; ciertamente, los cationes monovalentes sodio (Na^+) y potasio (K^+) participan en los cambios de polaridad de la membrana, y son regulados en los fluidos corporales de las aves por eficientes mecanismos homeostáticos que incluyen los esteroides suprarrenales, estando la tasa de secreción de aldosterona controlada fundamentalmente por la concentración de los iones Na^+ y K^+ en el plasma, por el sistema renina-angiotensina y por la hormona adrenocorticotropina (ACTH) (Rosenberg y Hurwitz 1987).

En general, los vertebrados, especialmente las aves y los mamíferos, se caracterizan por mantener una elevada constancia de sus fluidos corporales, incluyendo su balance acidobásico. Este balance es un proceso complejo en el cual participan diferentes factores, principalmente la concentración de los iones hidrogeniones [H^+], presión parcial de dióxido de carbono [PCO_2] y la concentración de iones bicarbonato, presentando cada uno de ellos un modo de acción particular, pero mostrando entre sí importantes interdependencias para mantener el pH dentro de los límites normales compatibles con la vida animal (Goldstein 1981).

En este sentido, la presente investigación tuvo como finalidad comparar los parámetros electrolíticos, hematológicos y hemogasodinámicos y proteínas totales en tres especies de aves de hábitat y hábitos distintos: del orden Charadriiformes, el pico de tijera (*Rynchops*

niger), piscívora y de actividad básicamente nocturna Del Hoyo *et al.* (1996); del orden Columbiformes, la paloma maraquita (*Columbina squammata*), primordialmente granívora Muñoz *et al.* (2005) y de hábitos diurnos; y del orden Galliformes, la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonicus*), un ave semidoméstica cautiva, consumidora de alimento procesado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los individuos de *C. c. japonicus* fueron obtenidos en casas comerciales; los de *R. niger* y *C. squammata* fueron capturados mediante la utilización de redes de niebla en el litoral NE de la península de Araya (sector El Morahal y Laguna de Bocaripo; $10^{\circ} 39' 00''$ N; $63^{\circ} 41' 55$ W y $10^{\circ} 40' 00''$ N; $63^{\circ} 41' 56$ W, respectivamente), estado Sucre. Los ejemplares fueron procesados *in situ* y las muestras de sangre llevadas al Laboratorio de Fisiología Animal, del Departamento de Biología, del Núcleo de Sucre, de la Universidad de Oriente, para su procesamiento.

Parámetros Hematológicos

Para la extracción de la sangre, por punción cardiaca directa, los ejemplares fueron anestesiados con éter. Posteriormente fueron sacrificados y se extrajo una porción de músculo pectoral para determinar electrolitos intramusculares. La concentración de hemoglobina fue cuantificada por el método de la cianometahemoglobina Merck (1977), utilizando solución Drabkin, y las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro Spectronic 20, a 540 nm de longitud de onda. El hematocrito fue determinado en tubos capilares previamente heparinizados, centrifugando a 7000 rpm durante 5 min, en una microcentrífuga para hematocrito. El conteo globular se realizó utilizando la cámara de Neubauer modificada (Fisher 1958).

Los índices hematimétricos, esto es, volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HbCM) y concentración de hemoglobina corpuscular media (CHbCM) fueron calculados los niveles según las fórmulas propuestas por Fisher (1958) y Castejón *et al.* (1979).

Parámetros Electrolíticos

Iones Plasmáticos

Los iones Na^+ y K^+ se cuantificaron por fotometría de llama utilizando un fotómetro de lectura directa

Bio-Dynamic modelo Lytetek, previamente calibrado con soluciones patrones. Las muestras se diluyeron en una proporción 1:50, antes de realizar las lecturas fotométricas (Belmar y Rey de Viñas 1971). Los iones Cl^- fueron determinados por titulación mercurimétrica (Scribner y Belding 1950).

Iones Intramusculares

Se determinaron igual que los iones plasmáticos, sólo que previo a las diluciones se realizó una digestión del tejido con ácido nítrico 70% en tubos de Kjendall, durante 30 min.

Parámetros Hemogasodinámicos

La cuantificación gasométrica se realizó con un microanizador de pH y gases sanguíneos Ciba-Corning, modelo 238, con electrodos sensibles de pH, PCO_2 y PO_2 , que permiten además calcular la concentración de HCO_3^- , exceso de base y porcentaje de saturación de oxígeno mediante programas computarizados. Para realizar los análisis se incluyeron en el equipo los valores de hemoglobina y temperatura corporal al momento de la obtención de la muestra y la presión atmosférica habitual del medio [760 mm].

Proteínas Totales

Las proteínas totales del plasma fueron cuantificadas por el método de Lowry y las lecturas se realizaron en

un espectrofotómetro Spectronic 20, a una longitud de 545 nm.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de variancia sencillo, a un nivel de confiabilidad de 95% y una prueba a posteriori de Duncan (Sokal y Rohlf 1979; Steel y Torrie 1988), a fin de establecer si existen diferencias entre los parámetros hematológicos, electrolíticos, hemogasodinámicos y proteínas totales en las diferentes especies de aves.

RESULTADOS

Parámetros Hematológicos

Los parámetros hematológicos mostraron una gran variación en este estudio, observándose diferencias altamente significativas (Fs: 32,56; $P < 0,001$) en glóbulos rojos y blancos, diferencias muy significativas [Fs: 8,30; $P < 0,01$] en la hemoglobina y diferencias significativas en el hematocrito (Fs: 4,56; $P < 0,05$). En general se observó que *R. niger* presenta los mayores valores promedios en dichos parámetros. En cuanto a los índices hematimétricos, con excepción de la concentración de la CHbCM, los otros dos parámetros presentaron diferencias significativas (VCM), *i.e.*, Fs: 5,2; $P < 0,05$, y muy significativas (HbCM), *i.e.*, Fs: 9,4; $P < 0,01$, observándose en ambos la formación de dos grupos, el primero formado por *C. c. japonicus* y *R. niger*, y el segundo, por *C. squammata* (Tabla 1).

Tabla 1. Valores hematológicos promedio de *Rynchops niger* (Rn), *Columbina squammata* (Cs) y *C. coturnix japonicus* (Cc).

Esp.	GR [$\times 10^{12}/l$]	Hb [gr%]	Hto [%]	GB [$\times 10^9/l$]	V.C.M [μ^3]	HbCM [pg]	CHbCM [%]
Rn	5355000 \pm 686183,00 ^c	15,58 \pm 2,2 ^b	43,67 \pm 4,5 ^b	15178 \pm 4481,9 ^c	81,86 \pm 4,21 ^a	29,12 \pm 1,77 ^a	35,59 \pm 1,54
Cs	3218571 \pm 806988,82 ^a	12,27 \pm 1,7 ^a	36,57 \pm 4,0 ^a	6440 \pm 1134,3 ^a	121,83 \pm 9,4 ^b	40,03 \pm 8,97 ^b	33,57 \pm 3,24
Cc	4271667 \pm 211226,58 ^b	12,29 \pm 1,6 ^a	36,17 \pm 4,9 ^a	10260 \pm 1059,0 ^b	84,66 \pm 10,7 ^a	28,73 \pm 3,27 ^a	34,09 \pm 2,93
	***	**	*	***	*	**	ns

ns: No significativo.

*: Significativo.

** : Muy significativo.

***: Altamente significativo.

Letras iguales indican promedios estadísticamente similares para la pruebas de ámbitos múltiples de Duncan.

Parámetros Electrolíticos

Los análisis de variancia para los iones plasmáticos: Na⁺ y K⁺ y Cl⁻ no arrojaron diferencias significativas entre las tres especies (Tabla 2). Mientras que en los iones intramusculares, el K⁺, a diferencia del Na⁺, presentó diferencias significativas. Las especies *R. niger*, y *C. squammata* presentaron valores estadísticamente similares, mientras que *C. c. japonicus* presentó el valor promedio más bajo (Tabla 3).

Proteínas Totales

Las proteínas plasmáticas totales mostraron diferencias muy significativas en el grupo de especies estudiadas (Fs: 6,5; P<0,01), formándose, a través de la prueba a posteriori de Duncan, dos grupos: el primero integrado por *C. squammata* y *C. c. japonicus* y el segundo, por *R. niger* (Tabla 2).

Tabla 2. Valores plasmoelectrolíticos promedio y de proteínas totales en *Rynchops niger*, *Columbina squammata* y *C. coturnix japonicus*.

Especies	Na ⁺ [mEq/L]	K ⁺ [mEq/L]	Cl ⁻ [mEq/L]	Proteínas
<i>Rynchops niger</i>	189,33±39,08	4,50±0,70	141,67±22,74	5,33±2,00 ^b
<i>Columbina squammata</i>	159,71±37,39	4,37±0,72	111,14±22,66	2,61±0,55 ^a
<i>C. coturnix japonicus</i>	148,00±20,56	3,70 ±1,22	134,00 ±26,34	3,73±0,80 ^a
Significancia	ns	ns	ns	**

ns: No significativa.

** : Muy significativo.

Letras iguales indican promedios estadísticamente similares para la prueba de ámbitos múltiples de Duncan.

Tabla 3. Valores de los electrolíticos intramusculares de *Rynchops niger*, *Columbina squammata* y *C. coturnix japonicus*.

Especies	Na ⁺ [mEq/L]	K ⁺ [mEq/L]
<i>Rynchops niger</i>	5,73±1,42	8,60±1,36 ^b
<i>Columbina squammata</i>	5,49±1,46	8,77±1,32 ^b
<i>C. coturnix japonicus</i>	4,11±1,15	6,93±0,91 ^a
Significancia	ns	*

ns: No significativo.

*: Significativo.

Letras iguales indican promedios estadísticamente similares para la prueba de ámbitos múltiples de Duncan.

Tabla 4. Valores hemogasodinámicos de *Rynchops niger*, *Columbina squammata* y *C. coturnix japonicus*.

Especies	pH	pCO ₂	pO ₂
<i>Rynchops niger</i>	7,35± 0,10	39,50± 1,50	62,67± 1,89
<i>Columbina squammata</i>	7,53± 0,18	38,14± 2,40	61,57± 1,80
<i>C. coturnix japonicus</i>	7,48± 0,16	51,83 ± 2,24	62,67± 1,13
Significancia	ns	ns	ns

ns: No significativo.

Parámetros Hemogasodinámicos

Los gases sanguíneos muestran que los distintos valores hemogasodinámicos de las tres especies no presentaron diferencias significativas durante el período de estudio (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Algunos valores hematológicos obtenidos en el presente estudio (GR, GB, Hb, Hto) presentaron una alta variabilidad en las aves estudiadas, presentando *R. niger* los mayores valores promedio, por encima de los obtenidos para *C. squammata*, *C.c. japonicus*, y la guinea (*Numidia meleagris*) (Fourie & Hatting 1980; Alzola 1998). Estos resultados coinciden con los obtenidos, en condiciones ambientales, por Elliot *et al.* (1974), Fourie & Hatting (1980), Gee *et al.* (1981) y Lavin *et al.* (1992), en donde los GR y la Hb experimentaron variación en las distintas estaciones del año dependiendo de la disponibilidad de alimento y la actividad desplegada por el ave.

En contraste, en cuatro especies de rapaces en cautiverio, *i.e.*, águila imperial (*Aquila adalberti*), águila dorada (*Aquila chrysaetos*), buitres egipcio (*Neophron percnopterus*) y buitres grifón (*Gyps fulvus*), Polo *et al.* (1992) hallaron valores de GR inferiores a los de nuestras tres especies; en cambio, los de Hb superaron los hallados en *C. squammata* y *C. coturnix japonica*, pero fueron inferiores a los de *R. niger*.

De igual forma, los valores del Hto coinciden con los valores obtenidos en el gavián *Rostrhamus sociabilis* Gee *et al.* (1981) y el aguilucho *Circus aeruginosus* Lavin *et al.* (1992), pero difieren de los obtenidos por Gessaman *et al.* (1986) en los halcones *Accipiter striatus* y *A. cooperi*, los cuales presentaron valores superiores. Puerta *et al.* (1995) señalaron que en el gorrión doméstico (*Passer domesticus*) se establecen los mayores valores del hematocrito al final de la estación de verano, aduciendo que la aclimatación por tiempo prolongado, con incremento en la luminosidad, y la alta actividad física promueven un aumento de los valores hematológicos.

Los valores de GB también presentaron una tendencia semejante, con *R. niger* mostrando los valores promedio más elevados, y *C. squammata* y *C. c. japonicus*, los menores. En el caso de *C. c. japonicus*, por ser una especie comercial semidoméstica, generalmente permanece confinada a espacios reducidos y sometida a fotoperíodos

artificiales (*e.g.*, 17 horas de luz y 7 de oscuridad), por lo que se ha señalado que el estrés experimental causado por disminución del espacio y del movimiento y la manipulación pueden causar cambios hematológicos pronunciados, lo cual, sumado al efecto lumínico casi constante, determina una condición de vigilia, y, en consecuencia, causa un estado de tensión que se ve reflejado en un debilitamiento del sistema inmunológico, evidenciado en la disminución de los glóbulos blancos (Hodges 1979; Fourie & Hatting 1980; Siegel 1980). Sin embargo, Polo *et al.* (1992) alegan que los niveles de GB pueden variar considerablemente, aún en especies de la misma familia, dependiendo de la metodología utilizada para su análisis o debido a patologías.

En general, los índices hematimétricos de nuestras tres especies mostraron diferencias significativas, con excepción del CHbCM, presentando *C. squammata* los valores promedio más elevados; estos valores son superiores a los obtenidos, en condiciones basales, en el flamenco *Phoenicopterus ruber* y en el gorrión doméstico Puerta *et al.* (1992; Puerta *et al.* (1995), e inferiores a los registrados por Alonso *et al.* (1991) en la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*). Polo *et al.* (1992), en cuatro especies de rapaces, encontró valores de VCM y HbCM notoriamente superiores a los obtenidos en este estudio; no obstante, los valores de CHbCM fueron ligeramente menores.

Los valores hallados en *C. squammata* pudieran interpretarse como una adaptación fisiológica que le permitiría a tener una mayor cantidad de hemoglobina por glóbulo, para así aumentar la capacidad de fijar oxígeno, manteniendo una tasa metabólica que le permite realizar sus actividades normales. Vale comentar, que esta especie de paloma fue recolectada en un hábitat xerofítico, caracterizado por presentar una fuerte temporada de sequía y una intensa insolación, donde la evapotranspiración puede superar hasta 16 veces la pluviosidad (Ewell *et al.* 1976). No obstante, Verger (1994) indica que la cantidad de O₂ en la sangre de la paloma arrulladora (*Columba livia*) es baja, con un P₅₀ de 46,9 mm Hg [pH 7,4; 41°C], lo cual coincide con otras especies de aves no passeriformes, *e.g.*, *Gallus gallus*, *C.c. japonicus*, *P. domesticus*, *Sthruutio camelus* Hirsowitz *et al.* (1977); Isaacks *et al.* (1977); Alzola (1998), y colibríes Johansen *et al.* (1987). Desde el punto de vista fisiológico, una alta afinidad es considerada ventajosa en condiciones de hipoxia extrema, lo cual no es aplicable en nuestras especies. De hecho, la pertinencia de una interpretación sistemáticamente adaptativa de las propiedades funcionales de la hemoglobina, especialmente en las aves, ha sido cuestionada (Brittain 1991).

Xi *et al.* (2002), en un estudio comparativo de la bioquímica sanguínea de tres especies de garza (*i.e.*, *Ardeola bacchus*, *Egretta garzetta* y *Nycticorax nycticorax*), obtuvieron valores interespecíficos diferentes, donde *A. bacchus* arrojó valores hemoglobínicos (*e.g.*, GR, CHbCM, HbCM), de K^+ y proteínas totales más elevados. Los niveles de Na^+ fueron similares en las tres especies, pero los de Cl^- y Ca^{2+} fueron más altos y más bajos, respectivamente, en *E. garzetta*, lo cual, según ellos, pudiera reflejar diferencias en los hábitos alimentarios de las tres especies. Al contrario de *E. garzetta* y *A. bacchus*, especies habitualmente diurnas que buscan sus presas vadeando dentro del medio líquido, *N. nycticorax* es una garza de hábitos básicamente nocturnos McNeil *et al.* (1993), la cual basa su estrategia alimentaria en el acecho de su presa, posada inmóvil en una percha sin introducirse al agua (Del Hoyo *et al.* 1996).

En cuanto a los parámetros electrolíticos, se tiene que Na^+ , K^+ y Cl^- no presentaron diferencias significativas interespecíficas, estando dentro o sobre los márgenes *e.g.*, Celdrán *et al.* (1993; Polo *et al.* (1992 Polo *et al.* (1994) hallados para otras especies. Pero, aun cuando estos iones no alcanzaron a mostrar diferencias estadísticas entre sí, debe destacarse que los mayores valores promedios se encontraron en *R. niger*, lo cual pudiera explicarse, en parte, en su hábitat y hábitos alimentarios, debido a que se trata de un ave acuática piscívora, con una actividad alimentaria primordialmente nocturna y que captura su alimento mediante vuelos sostenidos generalmente en aguas fluviales y marino-costeras (Del Hoyo *et al.* 1996).

Adicionalmente, su manera singular de alimentarse permite el paso masivo de agua salada junto con el alimento (Zusi 1985). No obstante, para el Na^+ no se presentaron diferencias significativas. El Na^+ constituye el principal ión extracelular, sus reguladores son las glándulas suprarrenales y los riñones. Una mayor actividad de la glándula suprarrenal trae consigo un aumento en la actividad de la capa celular glomerulosa, la cual aumenta la producción del mineralocorticoide aldosterónico, facilitando la recuperación de Na^+ del lumen tubular al líquido intersticial, motivando así una mayor reabsorción de este catión al nivel de los túbulos renales (Hill 1980; Arnason y Skadhauge 1991). Sumado a esto, debe recordarse que las aves, y más notoriamente en las que se alimentan de organismos marinos, poseen una glándula salina que ciertamente coadyuva en la secreción del exceso de sal, para poder mantener un balance osmótico adecuado; de tal manera, que el incremento en la secreción de sal se asociaría al aumento de la actividad

ATPasa Na^+/K^+ a nivel de la membrana basolateral de las células tubulares de la glándula (Randall *et al.* 1998). De cualquier modo, con los resultados obtenidos se evidencia que, aun cuando son aves de distintos hábitat y hábitos de vida, el proceso de regulación pareciera ser similar.

Por su parte, el Cl^- es un anión extracelular regulado por los riñones, las glándulas suprarrenales, la piel, el tracto gastrointestinal y el pH sanguíneo (Hill 1980). En nuestras aves, el ión Cl^- no mostró variaciones interespecíficas significativas; pese a esto, *R. niger* mostró los mayores valores manteniendo así la tendencia obtenida para los iones Na^+ y K^+ , lo que reforzaría la tesis generalizada que indica que una gran reabsorción de Na^+ al nivel de los túbulos renales, se acompaña de una reabsorción de Cl^- por ser un anión acompañante a fin de mantener el balance osmótico. El transporte de Na^+ a través de las células crearía un gradiente electroquímico que promueve el movimiento de Cl^- a favor de este gradiente. Las células epiteliales de los túbulos distales tienen la capacidad de absorber cloruro activamente a través de un mecanismo de transporte activo acoplado a la secreción de HCO_3^- en número equivalente de iones (Randall *et al.* 1998).

Al igual que con los iones Na^+ y Cl^- , el ión K^+ no presentó diferencias y mostró los mayores valores en *R. niger*. Durante la excreción renal de K^+ , éste es filtrado en el glomérulo y se reabsorbe en gran parte en los segmentos proximales, excretándose a nivel distal. Este catión es de vital importancia en el control del volumen y composición del líquido extracelular, así como también en la transmisión de las señales nerviosa y contracción muscular (Randall *et al.* 1998). Los resultados obtenidos confirmarían la existencia de un mecanismo de intercambio catiónico al nivel de los túbulos renales, en el cual se establece que una mayor reabsorción de los iones Na^+ se acompaña de una mayor excreción de K^+ , por medio de la bomba sodio-potasio, y que puede estar influenciada por una liberación de aldosterona, producto de la mayor actividad de la corteza suprarrenal (Rosenberg y Hurwitz 1987).

En relación a los factores implicados en el control ácido-básico de la sangre, llama la atención, en primer lugar, la similitud de los valores promedios de pH, cuyo valor es de ~ 7.4 , similar a los determinados para la mayoría de los mamíferos, incluida la especie humana Guyton (1976); sin embargo, los valores de pH hallados para *C. c. japonicus* y *C. squammata* fueron ligeramente superiores a los obtenidos por Urbaneja y Belmar 1983y Belmar y de Belmar 1984. En suma, es posible inferir

que el pH sanguíneo está íntimamente relacionado con la actividad física desarrollada por cada especie en particular. En este sentido, los costos energéticos de *R. niger* serían mayores, tanto para sostener una búsqueda activa del alimento mediante vuelos intermitentes como para mantener la homeostasis corporal debido a la temperatura ambiental más baja en las noches. Por otro lado, el hecho de que los peces constituyan su alimento principal Del Hoyo *et al.* (1996) genera, normalmente, un ingreso neto de ácido; por consiguiente, el efecto combinado los costos metabólicos de la búsqueda, tipo y hábito de alimentación es una ligera producción de ácido, la cual se vería reflejada en los valores de pH (Randall *et al.* 1998). En cambio, la dieta de *C. squammata*, al menos en el área de recolección, está constituida básicamente por semillas, las cuales recolecta regularmente durante las primeras horas de la mañana y a media tarde, cuando la insolación está más atenuada (Muñoz *et al.* 2005).

Las niveles proteínas totales estuvieron dentro de los márgenes normales (3 a 5 g/dl) de la mayoría de las aves; no obstante, los valores de obtenidos en *R. niger* (5,33 g/dl) superan ligeramente ese intervalo. Contrariamente, otras especies de aves pueden arrojar valores mucho más bajos, *e.g.* *Falco punctatus* (Cooper *et al.* 1986). De cualquier modo, la edad, los cambios estacionales, la dieta y el cautiverio afectan los niveles proteicos del plasma Lewandowski (1986), por lo que es de importancia considerar la condición fisiológica del ave al momento del muestreo (Polo *et al.* 1992).

En retrospectiva, nuestros hallazgos tienden a ratificar que las distintas condiciones físicas que caracterizan el modo de vida de las aves tienen implicaciones directas sobre su fisiología, las cuales se ven manifestadas no sólo por cambios morfológicos externos, sino también por las complejas respuestas a nivel celular y bioquímico (Hodges 1979; Randall *et al.* 1998). Es por ello que el caso de *R. niger* llama particularmente la atención, debido a que las notorias modificaciones morfoanatómicas que ha experimentado esta especie, a nivel del pico Zusi (1985) y los ojos Rojas *et al.* (1997), lo han capacitado para evolucionar hacia un nicho alimentario prácticamente de su exclusividad. Eventualmente, ello implicaría, casi por "obligación evolutiva", adaptaciones paralelas en su fisiología, las cuales se estarían reflejando, en parte, en las diferencias en los parámetros sanguíneos aquí comparados, con respecto a las otras especies.

El hecho de que estas especies no estén filogenéticamente emparentadas y/o exploten hábitat y alimentos distintos impondría cambios ineludibles

a nivel anatomofisiológico y comportamental. Tanto es así, que Felsenstein (1985) y Garland *et al.* (1993) sugieren que en las comparaciones estructurales hay que tomar en cuenta el parentesco filogenético; es decir, dos especies muestran estructuras y respuestas más similares mientras estén más emparentadas. Sin embargo, el hecho de que, en contraposición, los niveles sanguíneos de algunos parámetros resulten similares en especies de órdenes alejados filogenéticamente, explicaría, de alguna forma, la versatilidad genómica de algunas especies y familias de aves, por un lado, y, por otro, el alto grado de conservación que pueden tener algunos genes responsables del metabolismo, lo cual se ve manifestado en soluciones fisiológicas comunes ante el estrés ambiental, independientemente de que las rutas bioquímicas fueran algo distintas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, J.; HUECOS, V.; ALONSO, S.; ABELENDA, M.; MUÑOZ, A.; PUERTA, M. 1991. Hematology and blood chemistry of adult White Storks (*Ciconia ciconia*). *Comp. Biochem. Physiol.* 98A:395-397.
- ALZOLA, R. 1998. Efectos de fotoperíodos artificiales sobre la actividad de la tiroides, parámetros hematológicos y lípidos totales en la codorniz *Coturnix coturnix japonicus*. Trabajo de Grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. Cumaná, Venezuela.
- ARNASON, S. S.; SKADHAUGE, E. 1991. Steady-stage sodium absorption and chloride secretion of colon and coprodeum, and plasma levels of osmoregulatory hormones in hens in relation to sodium intake. *J. Comp. Physiol.* 161B:1-14.
- BAUMANN, F.; BAUMANN, R. 1977. A comparative study of the respiratory properties of bird blood. *Respir. Physiol.* 31:333-343.
- BELMAR, M.; DE BELMAR, W. 1984. Regulación acidobásica en algunos vertebrados e invertebrados del oriente de Venezuela. *Acta Cient. Venezuel.* 35 (1):222-225.
- BELMAR, M.; REY DE VIÑAS, J. 1971. Temperatura corporal y catecolaminas. *Ann. Real Acad. Farmac.* 37 (2):257-280.
- BRITAIN, T. 1991. Cooperativity and allosteric regulation in non-mammalian vertebrate haemoglobins. *Comp. Biochem. Physiol.* 99B:731-740.

- CASTEJÓN, F.; FRAILE, A.; PONZ, F. 1970. Fundamentos de la Fisiología Animal. Universidad Navarra, S.A. Pamplona.
- CELDARAN, F.J., POLO F.J., PEINADO, V.I., VISCOR, G.; PALOMEQUE, J. 1993. Hematology of captive herons, egrets, spoonbill, ibis and gallinule. *Comp. Biochem. Physiol.* 107A (2):343-347.
- COOPER, J.E., NEEDHAM, J.R.; FOX, N.C. 1986. Bacteriological, haematological and clinical chemical studies on the Mauritius Kestrel (*Falco punctatus*). *Avian Pathol.* 15:349-356.
- DEL HOYO, J.; ELLIOT, A.; SARGATAL, J. 1996. Handbook of the Birds of the World. Vol. 2. Hoatzin to Auks. Lynx Edicions. Barcelona.
- ELLIOT, R.; SMITH, E.; BUSH, M. 1974. Preliminary report on hematology of birds of prey. *J. Zool. Anim. Med.*, 5:11-19.
- EWELL, J., MADRIZ, A.; TOSI, J. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría y FONAIAP, Caracas.
- FELSENSTEIN, J. 1985. Phylogenies and the comparative method. *Am. Nat.* 124:1-15.
- FISHER, A. 1958. Laboratorio (Análisis Clínicos). 6ª Ed. Editorial El Ateneo. Buenos Aires.
- FOURIE, F.; HATTING, C. 1980. Variability in bird hematology. *Comp. Biochem. Physiol.* 65A:147-150.
- GARLAND JR., T.; DICKERMANN, A. W.; JANIS, C. M.; JONES, J. A. 1993. Phylogenetic analysis of covariance by computer simulation. *Syst. Biol.* 42:265-292.
- GEE, G.; CARPENTER, J.; HEUSLER, G. 1981. Species differences in hematological values of captive cranes, geese, raptor and quail. *J. Wild. Manag.* 45:463-481.
- GESSAMAN, J.A., JOHNSON, J.A.; HOFFMAN, S.W. 1986. Hematocrits and erythrocyte numbers for Cooper's and Sharp-shinned hawks. *The Condor* 88:95-96
- GOLDSTEIN, L. 1981. Fisiología Comparada. Nueva Editorial Interamericana, México.
- GUERCI, A. 1988. Laboratorio. Métodos de análisis clínicos y su interpretación. 4ª Ed. Librería "El Ateneo". Editorial Buenos Aires, Argentina.
- GUYTON, A. 1976. Tratado de Fisiología Médica. 5ta edición, Madrid.
- HERRERA, E. 1993. Bioquímica. 2ª Ed. Editorial Interamericana McGraw-Hill. Madrid.
- HILL, R. 1980. Fisiología Animal Comparada. Editorial Reverté S. A. Barcelona.
- HIRSOWITZ, L; FELL, K.; TORRANCE, J. 1977. Oxygen affinity of avian blood. *Respir. Physiol.* 31:51-62.
- HODGES, R. 1979. The blood cell. In: Form and Function in Bird. King, A. & Mc Lelland, J. (Eds.) Academic Press. New York. pp. 361-380.
- ISAACKS, R.; HARKNESS, D.; SAMPSELL, R.; ADLER, J.; ROTH, S.; KIM, C.; GOLDMAN, P. 1977. Studies on avian erythrocyte metabolism. Inositol tetrakisphosphate: the major phosphate compound in the erythrocytes of the ostrich (*Struthio camelus camelus*). *Eur. J. Biochem.* 77:567-574.
- JOHANSEN, K.; BERGER, M.; BICUDO, J.; RUSCHI, A.; ALMEIDA, P. 1987. Respiratory properties of blood and myoglobin in hummingbird. *Physiol. Zool.* 60:269-278.
- LAVIN, S.; CUENCA, R., MARCO, I.; VELARDE, R.; VIÑAS, L. 1992. Hematology and blood chemistry of the Marsh Harrier (*Circus aeruginosus*). *Biochem. Physiol.* 65A:147-150.
- LEWANDOWSKI, A.H.; CAMPBELL, T.W.; HARRISON, G.H. 1986. Clinical chemistries. In: Clinical Avian Medicine and Surgery, Harrison G.J. & Harrison L.R. (Eds.). W.B. Saunders, Philadelphia. pp 192-200.
- MCNEIL, R.; DRAPEAU, P.; PIEROTTI, R. 1993. Nocturnality in colonial waterbirds: occurrence, special adaptations, and suspected benefits. In: Current Ornithology, Vol. 10. Power, D.M. (Ed.). Plenum Pres, New York, New York. 187-246 pp.
- MERCK, E. 1977. Diagnostic Merck. Darmstadt, Alemania.

- MUÑOZ, J, MARÍN, G.; RODRÍGUEZ, J.R. (2005). Dieta de tres especies de aves colúmbidas en un hábitat xerofítico litoral del nororiente de Venezuela. *Saber* 17(2): (215-223).
- POLO, F.J., CELDRÁN, J. VISCOR, G.; PALOMEQUE, J. 1992. Hematological values for four species of birds prey. *The Condor* 94:1007-1013.
- POLO, F.J., CELDRÁN, J., VISCOR, G.; PALOMEQUE, J. 1994. Blood chemistry of captive herons, egrets, spoonbill, ibis and gallinule. *Comp. Biochem. Physiol.* 107A (2):343-347.
- PUERTA, M.; GARCIA, A.; ABELENDA, M.; FERNANDEZ, A.; HUECOS, V. & NAVA, P. 1992. Hematological trends in flamingos, *Phoenicopterus ruber*. *Comp. Biochem. Physiol.* 102A: 683-686.
- PUERTA, M., NOVA, M., VENERO, C.; VEIGA, J. 1995. Hematology and plasma chemistry of House Sparrow (*Passer domesticus*) along the summer month and after testosterone treatment. *Comp. Biochem. Physiol.* 110A (4):303-307.
- RANDALL, D.; BURGGREN, W; FRENC, K. 1998. *Fisiología Animal*. 4ta Edición. Ed. McGraw-Hill Interamericana. New York.
- ROJAS, L.M.; R. McNEIL; T. CABANA. 1997. Diurnal and nocturnal visual function in two tactile foraging waterbirds: the American White Ibis and the Black Skimmer. *The Condor* 99:191-200.
- ROSENBERG, J.; HURWITZ, S. 1987. Concentration of adrenocortical hormones in relation to cation homeostasis in birds. *Am. J. Physiol.* 253:R20-R24.
- SCRIBNER, R.; BELDING, S. 1950. Chloride determination in blood. *Proc. Staff Meet. Mayo Clin.* 25:209-212.
- SIEGEL, H. S. 1980. Physiologic stress in bird. *BioScience* 30 (8):529-534.
- SOKAL, R.; ROHLF, F. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H. Blume Ediciones. Madrid.
- STEEL, R; TORRIE, J. 1988. *Bioestadística, Principios y Procedimientos*. 2ª Ed. McGraw-Hill. New York.
- STURKIE, P. 1986. Body Fluids: Blood. In: *Avian Physiology*. Sturkie, P. (Ed.). Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 102-120.
- URBANEJA, A.; BELMAR, M. 1983. Efectos de los cambios de temperatura sobre el balance acidobásico, constante hematológica y electrolitos en *C. c. japonicus* (1758). *Acta Cient. Venezol.* 34 (1):229-235.
- VERGER, P. 1994. Oxygen binding properties of blood and hemoglobin from the pigeon *Columba livia*. *Comp. Biochem. Physiol.* 109B:391-406.
- XI, Z.; SHI-DE, Y.; XIAO-PING, Z.; QIN-JUAN, C. 2002. Comparative studies of egg aminoacids, blood biochemistry and physiological minerals in herons. 23rd International Ornithological Congress.
- ZUSI, R.L. 1985. Skimmer. In: *A dictionary of birds*. B. Campbell & E. Lack (eds.). Poyser. Calton, U.K. pp. 546-547.