Descripción Histológica de los Diferentes Segmentos del Aparato Respiratorio de Avestruz (*Struthio camelus* var. *Domesticus*)

Histologic Description of the Different Segments from the Ostrich Respiratory System (*Struthio camelus* var. *Domesticus*)

Julio Illanes^{*,**}; Jorge Leitchle^{**}; Victor Leyton^{*}; Luis Felipe Tapia^{*}; Bárbara Fertilio^{**} & Mario Castro^{*}

ILLANES, J.; LEITCHLE, J.; LEYTON, V.; TAPIA, L. F.; FERTILIO, B. & CASTRO, M. Descripción histológica de los diferentes segmentos del aparato respiratorio de avestruz (*Struthio camelus* var. *Domesticus*). *Int. J. Morphol.*, 32(4):1325-1336, 2014.

RESUMEN: Debido al creciente interés actual en la industria del avestruz (*Struthio camelus* var. *domesticus*) y al escaso material bibliográfico referente a la morfología del aparato respiratorio, se ha propuesto analizar comparativamente el segmento laringo traqueo siringeo pulmonar de esta especie, con el objeto de contribuir en esta área. El estudio se realizó con seis avestruces clínicamente sanos, de los cuales se obtuvieron muestras representativas del segmento laringo traqueo siringeo pulmonar. Las muestras fueron procesadas de acuerdo a las técnicas histológicas de rutina para luego realizar un análisis morfológico comparativo con la gallina (*Gallus gallus*). En el avestruz el cartílago aritenoides es par y está situado en posición dorsal y craneal a la laringe. El cartílago cricoides es único, situado en posición ventral y caudal a la laringe. Al igual que en la gallina, presenta un cartílago procricoides. La tráquea presenta un número mayor de anillos que el observado en la gallina. A nivel de la siringe, el pessulus está constituido por un doble pliegue dorsoventral de la membrana mucosa, con una lámina propia de tejido conectivo denso sobre una gruesa capa de tejido adiposo. A diferencia de la gallina, el pessulus del avestruz no presenta tejido cartilaginoso ni óseo. La mucosa situada desde la laringe hasta los bronquios secundarios, posee un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, con criptas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa. En el caso de los bronquios primarios extrapulmonares esta característica histológica se observa sólo en la región medial, donde se encuentran los extremos de los semianillos de cartílago hialino. La mucosa restante de éstos, sólo posee un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes. Los sacos aéreos presentan esta característica histológica en algunos sectores.

PALABRAS CLAVE: Avestruz; Histología; Aparato Respiratorio.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de dietas más sanas y nutritivas, a fines del siglo XX se determinó que la carne de avestruz es más baja en colesterol, grasas y calorías que la de pollo sin su piel, por lo que los sudafricanos comenzaron a exportarla a Europa (Camiruaga Labatut, 2004). El avestruz (*Struthio camelus*) corresponde al ave de mayor tamaño existente en la actualidad, propia del continente africano. Los machos alcanzan alturas cercanas a 2,75 m y 180 kg de peso vivo. A pesar de poseer alas, estas son pequeñas e inadecuadas para el vuelo. Son animales gregarios y principalmente herbívoros (Camiruaga Labatut). El avestruz pertenece al orden Struthioniformes, también conocidas como ratites, nativas de los continentes del hemisferio sur. Se caracterizan por la ausencia de quilla en su esternón, lo que las imposibilita

para el vuelo. Este orden está formado por las Familias Rheidae (Ñandúes), Casuariidae (Emúes), Apterygidae (Kiwis) y Struthionidae, del cual el avestruz es el único representante (Camiruaga Labatut). En la actualidad sobreviven cuatro subespecies de avestruz: el avestruz de cuello rojo (*Struthio camelus camelus*), el avestruz somalí (*Struthio camelus molybdophanes*), el avestruz masai (*Struthio camelus massaicus*) y el avestruz de cuello azul (*Struthio camelus australis*) (Deeming, 2001). Con el fin de obtener un animal de mayor productividad y de manejo más sencillo se logra el avestruz doméstico, de cuello negro o african Black (*Struthio camelus* var. *domesticus*), como resultado de la cruce entre dos subespecies: la de cuello rojo (*Struthio camelus camelus*) y la de cuello azul (*Struthio camelus*

* Facultad de Medicina. Clínica Alemana - Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile.

** Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología, Santiago, Chile.

massaicus) (Camiruaga Labatut). Los principales productos obtenidos de esta ave son la carne, la piel, las plumas y los huevos (Deeming).

Entre las características anatómicas del aparato respiratorio del avestruz, se señala que la laringe está formada por dos cartílagos aritenoides y un cartílago cricoides, que en conjunto forman un anillo (Deeming). La tráquea se extiende entre laringe y siringe, con el lumen comprimido dorso-ventralmente en el tercio superior. Está formada por aproximadamente 200 anillos cartilaginosos u óseos completos (Deeming). La siringe es sencilla, formada por los últimos anillos de la tráquea y los semianillos proximales de los bronquios extrapulmonares. Éstos se extienden dentro de los pulmones sólo una corta distancia (Deeming). Con respecto a los pulmones, éstos se encuentran ubicados en el tercio dorsal de la cavidad toracoabdominal, entre el segundo y séptimo par de costillas (Deeming). Al igual que las aves voladoras, el avestruz tiene sacos aéreos incorporados en su estructura anatómica, en un número de 5 pares (claviculares, interclaviculares, pretorácicos, postorácicos y abdominales). En las aves, muchos de los huesos poseen cavidades comunicadas con los sacos aéreos, razón por la cual se les denomina huesos neumáticos. En el caso del avestruz (*Struthio camelus*), los únicos huesos neumáticos que presentan son el esternón y el fémur (Huchzermeyer, 2000).

Debido al incremento observado en el uso del avestruz en la industria, se torna de interés su estudio para lograr los conocimientos necesarios que permitan prevenir, tratar, curar; así como mantener una óptima preservación de esta especie (Deeming). El objetivo del presente trabajo consistió en identificar, clasificar y caracterizar histológicamente los segmentos del aparato laringo traqueo siringeo pulmonar del avestruz doméstico (*Struthio camelus* var. *domesticus*) y realizar con ello un análisis comparativo con lo descrito en la gallina (*Gallus gallus*) y eventualmente otras especies.

MATERIAL Y MÉTODO

El material biológico empleado para este estudio, corresponde a segmentos del aparato laringo traqueo siringeo pulmonar del avestruz doméstico (*Struthio camelus* var. *domesticus*) obtenidos de seis avestruces adultos, clínicamente sanos, con un rango de 1-4 años de edad, provenientes de criaderos de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y la Región Metropolitana. El material se obtuvo desde el Frigorífico Caren ubicado en la comuna de lo Espejo, Santiago de Chile. Obtenidas las muestras de los diferentes segmentos del aparato respiratorio del avestruz:

laringe, tráquea, bronquios y pulmones fueron fijados en formalina tamponada al 10% y luego se siguió el procedimiento habitual de la técnica histológica. Cortes de 5 µm de grosor fueron observados, fotografiados y analizados bajo microscopio de luz (Olympus BX41 con cámara digital Olympus C-5060 Wide zoom, 5.1 mega píxel). Con las fotografías se realizó un análisis comparativo de los aspectos histológicos encontrados en el avestruz, con aquellos descritos en la gallina y otras especies.

RESULTADOS

Descripción general del aparato respiratorio del avestruz. Los segmentos analizados corresponden a laringe, tráquea, siringe, bronquio extrapulmonar, bronquio intrapulmonar o mesobronquio, bronquio secundario, parabronquio o bronquio terciario y capilares aéreos. La pared del aparato respiratorio presenta tres capas o tunicas concéntricas: mucosa, submucosa y adventicia. La mayor diferencia en la pared de estas vías fue observada a nivel de la capa mucosa, la que expresa las características funcionales de cada segmento.

Laringe. Macroscópicamente la laringe en el avestruz es de forma tubular. En su extremo craneal presenta una apertura con dos pliegues bien desarrollados que se abren en dirección dorsoventral y que corresponde a la glotis. La mucosa de estos pliegues derecho e izquierdo, está sostenida en ambos lados por los cartílagos aritenoides. La laringe presenta dos cartílagos aritenoides, un cartílago cricoides y un cartílago procricoides. Los cartílagos aritenoides tienen una disposición dorsocráneoventral, se presentan unidos por dorsal mediante tejido conectivo fibroso, por lo cual, los aritenoides presentan una disposición más dorsocraneal respecto del cricoides. El cartílago cricoides se ubica en la zona ventrocaudodorsal de la laringe, ya que se proyecta por lateral y se encuentra dorsalmente. Por dorsal, entre ambos cartílagos aritenoides y cricoides, se ubica el procricoides, unidos entre ellos por tejido conectivo fibroso. Caudalmente la laringe se continúa con la tráquea (Fig. 1A-C).

Microscópicamente ambos pliegues laríngeos (pliegues vestibulares) están revestidos por una mucosa que presenta un epitelio estratificado plano no cornificado, tanto por el lado faríngeo como laríngeo y un corion de tejido conectivo denso. En la submucosa se observan numerosas glándulas túbulo-alveolares ramificadas de secreción mucosa, con células prismáticas y citoplasma basófilo, en cuyo lumen existe una gran cantidad de secreción mucosa en forma de vacuolas que vierten su secreción tanto hacia la faringe como hacia la laringe (Fig. 1D-F).

En cada pliegue laríngeo hay un cartílago hialino que constituye una porción del aritenoides. Lateralmente al pliegue se observan fascículos de musculatura esquelética de disposición circular, que se extienden hacia la región dorsal y confluyen en un pequeño pliegue hacia dorsocaudal, sitio donde se unen ambos cartílagos aritenoides (Fig. 1D).

La mucosa de la laringe desde craneal a caudal, experimenta un cambio de epitelio estratificado plano no cornificado (Fig. 1D y 1F) a pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas poco profundas que terminan en glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa. Entre las glándulas se encuen-

Figura 1. A). Vista craneal de la laringe. Barra= 4 cm. B). Vista dorsal de la laringe. Barra= 4 cm. C). Corte sagital de la laringe: muestra la hemilaringe derecha (Fig. 1b, línea punteada). Barra= 4 cm. D). Corte histológico coronal de hemilaringe izquierda (Fig. 1a, línea punteada). Lumen faríngeo (F) y epitelio faríngeo (E); Lumen laríngeo (L) y epitelio laríngeo (E); Cartílago aritenoides (Ca); Cartílago cricoides (Cc); glándulas túbulo-alveolares ramificadas de secreción mucosa del pliegue medial (G); musculatura esquelética (Me); anillos cartilaginosos traqueales (At). Tinción: H-E, 12,5X. E). Mayor aumento del recuadro izquierdo de la Fig. 1D (cara faríngea). Epitelio estratificado plano no cornificado (E); glándulas túbulo-alveolares ramificadas de secreción mucosa (G) y su conducto excretor (Ex). Tinción: H-E, 100X. F). Cambio de epitelio (flecha) estratificado plano no cornificado, nódulo linfoide (N), epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, con criptas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa interpuestas; en la submucosa se observan glándulas túbulo-alveolares ramificadas de secreción mucosa (G). Lumen de la laringe (L). Tinción: H-E, 100X. G). Mayor aumento del recuadro derecho de la Fig. 1D (cara laríngea). Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, con criptas poco profundas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G); nódulo linfoide (N) y anillo cartilaginoso traqueal (At). Lumen de la laringe (L). Tinción: H-E, 100X. H). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 1G (cara laríngea). Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, con criptas poco profundas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G), asociadas a un corion denso. Nódulo linfoide (N), lumen laríngeo (L) y parte de un anillo traqueal (At). Tinción: H-E, 200X.

tra tejido linfoide denso difuso con nódulos linfoides aislados, que también se observan con frecuencia en los puntos de inicio y término de los cambios de epitelio (Fig. 1F-H). El corion de la mucosa es de tejido conectivo denso. La submucosa es muy delgada y de tejido conectivo laxo. La adventicia posee un cartílago hialino que constituye la porción cráneo lateral del aritenoides (Fig. 1D).

Hacia la región caudal, la mucosa laríngea es histológicamente semejante y su adventicia muestra un cartílago hialino correspondiente al cartílago cricoides. Más externamente presenta una capa de musculatura esquelética que circunda la laringe. Caudalmente, la laringe se continúa con numerosos anillos cartilaginosos que constituyen el inicio de la tráquea (Fig. 1C-H).

Tráquea. Macroscópicamente la tráquea se extiende desde la laringe a la siringe, y alcanza una longitud que de acuerdo a la edad y sexo puede variar entre 50 a 80 cm. Es un conducto formado por alrededor de 200 anillos de cartilago hialino, comprimidos dorso ventralmente en su inicio y que se van redondeando hacia la siringe. A cada lado de la tráquea se ubica un largo y delgado músculo esquelético que se extiende hasta la siringe, el músculo traqueolateral. Dada su longitud la tráquea fue dividida en tres segmentos para

su análisis histológico: superior, medio e inferior, no observándose diferencias macroscópicas entre ellos (Fig. 2A-D).

Microscópicamente la tráquea no muestra diferencias histológicas significativas entre estos tres segmentos. En general su pared está constituida por una capa mucosa, submucosa y adventicia (Fig. 2D y 2E). La mucosa presenta un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes en toda su extensión, interrumpido por criptas poco profundas que terminan en glándulas tubulo-alveolares simples de secreción mucosa (Fig. 2E-G). Su corion de tejido conectivo denso muy vascularizado, y con nódulos linfoides aislados. La submucosa de tejido conectivo laxo es escasa. La adventicia representada por anillos de cartílago hialino. A cada lado de la tráquea y externamente al cartílago, se observan fascículos de musculatura esquelética de disposición longitudinal desde la laringe hasta la siringe, el músculo traqueolateral. La adventicia traqueal a nivel de la siringe está limitada en su cara ventral o anterior por mesotelio, el cual constituye parte del saco aéreo interclavicular.

Siringe. Macroscópicamente la siringe, denominada en otras aves como el órgano del canto, es la zona de bifurcación de la tráquea, donde se originan los bronquios prima-

Fig. 2. A). Cortes macroscópico de tráquea nivel superior; B). Medio y C). Inferior. Barra= 1 cm. D). Corte histológico panorámico transversal de tráquea. Muestra el cartílago hialino de un anillo traqueal. Tinción: H-E, 12,5X. E). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 2D. Se observa la mucosa (M), submucosa (S) y adventicia A, representada por un anillo traqueal. Externamente se aprecia la musculatura esquelética (Me). Tinción: H-E, 40X. F). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 2E. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas poco profundas con glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G) y corion de tejido conectivo denso. Lumen de la tráquea (L). Tinción: H-E, 200X. G). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 2F. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado (E) con células caliciformes (CC); criptas poco profundas (flecha) y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G). Cilios (C). Tinción: H-E, 1000X.

rios extrapulmonares. Se sitúa a nivel de la segunda y tercera vértebra torácica, dentro de la cavidad toracoabdominal. Presenta un diámetro mayor al de la tráquea y está comprimida dorso-ventralmente. Se pueden reconocer tres grupos de cartílagos siringiales: timpanum, traqueosiringiales y bronquiosiringiales. Los anillos que la forman (entre 5 y 6) son más grandes que los traqueales; algunos se superponen en el centro formando un anillo más rígido y estrecho, correspondientes al último anillo de la tráquea o cartílago traqueo-siringeal (Fig. 3A-C). Internamente a este último anillo, la mucosa muestra un engrosamiento que corresponde a las membranas timpaniformes laterales (pliegues laterales) (Fig. 3C-E). Mas caudalmente y en el centro de la bifurcación la mucosa presenta un doble engrosamiento o pliegue de disposi-

ción dorsoventral, correspondiente a la membrana central o pessulus (pliegue central) (Fig. 3C-F). Una vez en el inicio de los bronquios primarios extrapulmonares, un último engrosamiento de disposición medial de las membranas mucosas donde convergen los extremos de los semianillos bronquiosiringiales en forma de C, conforman las membranas timpaniformes mediales (pliegues mediales) (Fig. 3C-E).

Microscópicamente, la siringe en un corte coronal, muestra los anillos siríngicos (traqueosiringiales) que morfológicamente no se diferencian de los traqueales (Fig. 3C-E). En la zona más ancha de la siringe se observa un grupo de anillos cartilaginosos acompañados de abundante tejido conectivo laxo (Fig. 3E). La mucosa formada por un

Fig. 3. A). Siringe, vista dorsal. Barra= 4 cm. B). Siringe, vista ventral. Barra= 4 cm. C) Siringe, corte coronal. 1- Membranas timpaniformes laterales. 2- Membranas timpaniformes mediales. 3- Pessulus. Barra= 4 cm. D). Corte histológico panorámico coronal de la siringe. Membrana timpaniforme lateral (1); membrana central o pessulus (3); cartílago hialino del anillo traqueosiringeal (A); Lumen de la siringe (L). Tinción: H-E, 12,5X. E). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 3d. Membrana timpaniforme lateral (1); Cartílago hialino del anillo traqueosiringeal (A). En el pessulus, se observa la mucosa con su epitelio (E) y tejido adiposo (Ad) subyacente; nódulo linfático (N). Lumen de la siringe (L). Tinción: H-E, 40X. F). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 3E. Epitelio prismático pseudoestratificado ciliado con células caliciformes (E), criptas poco profundas con glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa; tejido adiposo (Ad); nódulo linfático (N). Lumen de la siringe, (L). Tinción: H-E, 100X. G). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 3F. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado (E) con células caliciformes (CC), criptas poco profundas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G), con un corion de tejido conectivo denso. Cilios (C). Tinción: Van Gieson, 1000X.

epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas poco profundas que terminan en glándulas túbulo alveolares simples de secreción mucosa (Fig. 3F y 3G). El corion de tejido conectivo denso, muestra nódulos linfoides aislados. En dirección cau-

dal, la adventicia está representada por anillos cartilaginosos que pasan a constituir semianillos (bronsosiringeales), que se continúan con aquellos que constituyen los bronquios primarios extrapulmonares. En el piso de la bifurcación de la siringe se observa un doble engrosamiento de disposición

Fig. 4. Bronquios primarios extrapulmonares. A). Corte histológico panorámico de bronquio primario extrapulmonar. Tinción: H-E. Barra= 1 cm. B). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 4A. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), tanto en el lumen bronquial (superior) como sacular (inferior) (L); semianillo de cartilago hialino (A). Tinción: H-E, 200X. C). Muestra la pared del bronquio primario extrapulmonar. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E) y cartilago hialino del semianillo bronquial (A). Tinción: H-E, 400X. D). Muestra la pared del saco aéreo. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), en el sector donde se observan glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa (G). Capa tendínea de colágeno tipo I. Tinción: Van Gieson, 1000X. E). Muestra la convergencia de los extremos del semianillo de cartilago hialino en la región medial (A). Musculatura lisa (MI). Tinción: H-E, 12,5X. F). Mayor aumento del recuadro de la derecha de la Fig. 4E. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas profundas con glándulas túbulo-alveolares simples concentradas en esta área. Corion de tejido conectivo denso; músculo liso (MI). Tinción: Van Gieson, 40X. G). Mayor aumento del recuadro de la izquierda de la Fig. 4E. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas profundas con glándulas túbulo-alveolares simples y corion de tejido conectivo denso; músculo liso (MI). Tinción: H-E, 100X. H). Mayor aumento de la Fig. 4G. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado (E) con células caliciformes, criptas profundas (flecha) y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G). Tinción: H-E, 400X.

medial y dorsoventral, que hacen prominencia hacia la cavidad siringea, el pessulus, cuya mucosa presenta un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas poco profundas que terminan en glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa y un corion o lámina propia de tejido conectivo denso con nódulos linfoides aislados y más profundamente una gruesa capa de tejido adiposo. La submucosa de tejido conectivo laxo es escasa. La adventicia de cartílago hialino en la siringe está limitada por el mesotelio pleural, el cual pasa a constituir la pared de los sacos aéreos toracoabdominales, estos últimos presentan un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, que en algunos sectores se puede observar glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa (Fig. 4B-D).

Bronquios primarios extrapulmonares. Se originan a partir de la bifurcación de la siringe. Presentan una porción extrapulmonar y otra intrapulmonar o mesobronquios, poseen un semianillo de cartílago hialino, cuyos extremos están unidos en la región medial por tejido conectivo y músculo liso.

Microscópicamente los bronquios primarios extrapulmonares, mantienen las características histológicas de la pared de la tráquea (Fig. 4A-C). La mucosa muestra un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes. El corion de tejido conectivo denso presenta nódulos linfoides aislados. La submucosa es delgada y vascularizada. La adventicia representada por semianillos de cartílago hialino, cuyos extremos están unidos en su región medial por musculatura lisa y tejido conectivo. En esta región donde se unen los extremos de los semianillos de cartílago hialino adventiciales, la mu-

cosa muestra un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas profundas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. Medialmente y en la bifurcación de los bronquios derecho e izquierdo, la mucosa constituye las membranas timpaniformes mediales. La mucosa y submucosa a este nivel presenta numerosos pliegues de diferentes tamaños constituidos por abundante tejido conectivo entremezclado con tejido muscular liso. Manojos de musculatura lisa de disposición circular unen sus extremos, en toda su extensión (Fig. 4E-H). Los bronquios primarios extrapulmonares están limitados lateroventralmente por el mesotelio pleural que constituye los sacos aéreos toracoabdominales (Fig. 4A-D). La porción que se observa de parte de un saco aéreo toracoabdominal muestra un epitelio de revestimiento pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (Fig. 4B-D).

Sacos aéreos. Los sacos aéreos que están en contacto con los bronquios primarios extrapulmonares, presentan un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes. Sin embargo, en algunos sectores se puede observar glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. Luego, una fina capa de tejido conectivo laxo, seguida de una gruesa capa tendínea de fibras de colágeno tipo I (Fig. 4D).

Pulmón. Macroscópicamente los pulmones en el avestruz están situados en el tercio anterior de la cavidad toracoabdominal, entre el segundo y séptimo par de costillas. El pulmón es una estructura maciza, de superficie lisa y de forma ovalada, no lobulada. Posee una cara dorsal o costal convexa, con seis impresiones o surcos dorsolaterales generados por la ubicación de las costillas,

Fig. 5. Panorámica del Aparato Laringo Traqueo Pulmonar. A). Vista macroscópica ventral de laringe, tráquea, siringe, bronquios primarios extrapulmonares y pulmones derecho e izquierdo. Barra= 30 cm. B). Pulmones, vista dorsal. Barra= 10 cm. C). Pulmones, vista ventral. Barra= 10 cm. D). Pulmón, corte sagital que muestra un bronquio primario intrapulmonar o mesobronquio (BPIP); bronquios secundarios dorsales, BSD; y bronquios secundarios ventrales, BSV. Barra = 10 cm.

y una cara ventral o visceral que está rodeada por mesotelio, que forma parte de los sacos aéreos (Fig. 5A-D). En los pulmones encontramos bronquios primarios intrapulmonares o mesobronquios, bronquios secundarios distribuidos en tres grupos (dorsales, ventrales y laterales), parabronquios o bronquios terciarios y el parenquima pulmonar conformado por capilares sanguíneos que circundan a los capilares aéreos que nacen desde los atrios. En este parenquima es el lugar donde ocurre la hematosis.

Bronquios primarios intrapulmonares o mesobronquios. Recorren medial y craneocaudalmente todo el pulmón hasta contactar con los sacos aéreos posteriores mediante los bronquios secundarios laterales. Microscópicamente la mucosa es festoneada, presenta numerosos pliegues bajos y revestidos por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células

caliciformes, interrumpido por criptas que terminan en glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa en toda su extensión. Bajo el epitelio se observa un corion de tejido conectivo denso. La submucosa de tejido conectivo laxo con abundantes manojos de fibras musculares lisas. La adventicia representada por un cartílago hialino dispuesto en placas cartilaginosas (no en semianillos), característica que le otorga a su mucosa un aspecto festoneado, estas placas van disminuyendo de tamaño hasta desaparecer a nivel de los bronquios secundarios. Esta adventicia se encuentra rodeada por una capa de musculatura lisa de disposición helicoidal y que en su región ventral está envuelta por la serosa pleural. (Fig. 6A-C).

Bronquios secundarios. En cada pulmón los bronquios primarios intrapulmonares o mesobronquios originan tres grupos de bronquios secundarios: cuatro secundarios dor-

Fig. 6. Bronquios primarios intrapulmonares o mesobronquio. A). Corte histológico que muestra la pared de un bronquio primario intrapulmonar o mesobronquio. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas profundas con glándulas túbulo-alveolares simples y corion de tejido conectivo denso; cartílago hialino (A); músculo liso (MI). Tinción: Van Gieson, 200X. B). Corte histológico de bronquio primario intrapulmonar o mesobronquio. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas profundas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa; músculo liso (MI). Tinción: H-E, 100X. C). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 6B. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado (E) con células caliciformes (CC), criptas profundas con glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G). Tinción: H-E, 200X.

Fig. 7. Bronquios secundarios dorsales, laterales y ventrales (ver Fig. 5D). A). Corte histológico panorámico que muestra el parénquima pulmonar (P), parabronquios (PB) y su nacimiento (flechas) desde los bronquios secundarios (B2°). Tinción: H-E, 12,5X. B). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 7A. Corte histológico de bronquio secundario. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas poco profundas y glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa; musculatura lisa (ML). Tinción: H-E, 100X. C). Mayor aumento del recuadro de la Fig. 7B. Epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes (E), criptas poco profundas y glándulas túbulo-alveolares simples de secreción mucosa (G). Tinción: H-E, 1000X.

sales (BSD), tres secundarios ventrales (BSV) y dos secundarios laterales (BSL). Éstos se ramifican en el parénquima pulmonar y dan origen a los parabronquios o bronquios terciarios (Fig. 7A). Microscópicamente la mucosa de los bronquios secundarios está revestida por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. Bajo la lámina propia de tejido conectivo denso, se encuentra una gruesa capa de musculatura lisa de disposición circular. En la adventicia de los bronquios secundarios, se observan aún pequeñas placas de cartílago hialino que desaparecen antes de originar los parabronquios (Fig. 7A-C).

Parabronquios o bronquios terciarios. Microscópicamente su mucosa está revestida por un epitelio simple cúbico bajo, el corion está representado por una fina capa de tejido conectivo. Los parabronquios, se caracterizan por presentar manojos de musculatura lisa de disposición helicoidal, tanto en sentido horario como antihorario. Des-

de los parabronquios se originan múltiples cavidades denominadas atrios, que se continúan con los capilares aéreos, revestidos ambos por un epitelio simple plano (Fig. 8A-C). Rodeando la pared del atrio y en torno a los manojos de músculo liso se observan acúmulos de macrófagos, entre estas estructuras se encuentran numerosos linfocitos, capilares sanguíneos y linfáticos (Fig. 9A-B).

Capilares aéreos. Éstos se originan y ramifican desde los atrios los cuales nacen a su vez desde los parabronquios. Microscópicamente junto a los capilares sanguíneos constituyen el parénquima pulmonar (Fig. 9C). Están revestidos por un epitelio simple, que presenta células planas (neumocitos de tipo I) y otras cúbicas (neumocitos de tipo II). Estos capilares aéreos se relacionan íntimamente con numerosos capilares sanguíneos, unidos por una membrana basal común. En la pared de los atrios, los cuales nacen desde los parabronquios y constituyen la entrada a los capilares aéreos, se observan acúmulos de macrófagos fijos y en forma libre en su lumen (Fig. 9A-C).

Fig. 8. Corte histológico de parabronquios y del parénquima pulmonar. A). Corte histológico panorámico del parénquima pulmonar (P). Muestra Parabronquios o bronquios terciarios con su lumen (L). Tinción: H-E. 40X. B). Corte histológico de parabronquios o bronquio terciario con su lumen (L); disposición helicoidal de la musculatura lisa (MI). Parénquima pulmonar (P). Tinción: H-E. 100X. C). Corte histológico de parabronquio o bronquio terciario de disposición transversal con su lumen (L); musculatura lisa (MI); Atrios (flechas). Parénquima pulmonar (P). Tinción: Van Gieson, 200X.

Fig. 9. A). Corte histológico de un parabronquio en sentido transversal y longitudinal. Se señala su lumen transversal (L) y atrio (*). Hacia el lumen longitudinal se aprecia la musculatura lisa (MI); acumulo de macrófagos (M). En el parénquima se señalan capilares aéreos (Ca), rodeados de capilares sanguíneos. Tinción: H-E, 200X. B). Corte histológico a mayor aumento del parabronquio. Se aprecia su epitelio de revestimiento cubico bajo simple, lumen del parabronquio (L); atrio (*); Acumulo de macrófagos (M); musculatura lisa (MI). Tinción: H-E, 1000X. C). Corte histológico del parénquima pulmonar. Los capilares aéreos (Ca) con células planas (NI) y células cúbicas (NII), rodeados de capilares sanguíneos con eritrocitos nucleados (*). Tinción: H-E, 1000X.

DISCUSIÓN

En este trabajo se analizó y comparó la morfología del aparato laringo traqueo siringeo pulmonar del avestruz (*Struthio camelus* var. *domesticus*) con la descrita en otras aves, con especial énfasis en la gallina (*Gallus gallus*). Su pared presenta una mucosa, submucosa y adventicia. La mayor diferencia en la pared de estas vías fue observada a nivel de la capa mucosa. En efecto, la mucosa de las vías respiratorias de conducción en el avestruz, está adaptada para generar gran cantidad de mucus. Esta capacidad de producción de mucus permite retener partículas extrañas, regular la temperatura y humedad del aire inspirado. De este modo protege a esta superficie de mucosa tan extensa de la desecación, dadas las características ecológicas en donde se reproduce, desarrolla y vive esta especie.

Toda la vía de conducción desde la laringe hasta los bronquios secundarios, se caracteriza por presentar una mucosa revestida por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpida por criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. A excepción de los bronquios primarios extrapulmonares, que muestran esta característica solo en la mucosa de la región medial donde convergen los extremos de los semianillos de cartilago hialino de su adventicia. La mucosa restante de éstos presenta un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes sin criptas ni glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa interpuesta. Sin embargo, cabe destacar que en la mucosa de los sacos aéreos se puede observar criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa en algunos sectores.

Laringe. La laringe del avestruz muestra una forma tubular. Posee tres cartílagos laríngeos: el aritenoides, el cricoides y el procricoides. El cartílago aritenoides es par, situado craneal y dorsal al cricoides. El cartílago cricoides es único, situado en la parte ventral y caudal de la laringe. El procricoides es único, de ubicación dorsal a la laringe, entre aritenoides y cricoides. Esto coincide con lo observado en el avestruz por McLelland (1989). Sin embargo, Bezuidenhout (1999) describe dos aritenoides y dos cricoides en el avestruz. Deeming, describe también dos cartílagos cricoides en el avestruz. Respecto de la gallina, existen diferencias macroscópicas en cuanto a la forma y estructuras de la laringe. La laringe tiene forma de corazón y posee fisura laríngea con papilas. Sin embargo, al igual que el avestruz presenta un cartílago procricoides. Del mismo modo los cartílagos aritenoides y cricoides son similares a lo observado en el avestruz (Sisson & Grossman, 2000).

Tráquea. La tráquea del avestruz está formada aproximadamente por unos 200 anillos de cartílago hialino. Estos anillos internamente están tapizados por un epitelio prismático pseudoestratificado ciliado con células caliciformes, criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. Presenta un par de músculos esqueléticos laterales, que corresponden a los músculos extrínsecos esternotraqueal y traqueolateral. Deeming, describe que los anillos traqueales del avestruz podrían estar osificados, hecho no observado en este análisis, posiblemente debido a la corta edad de las aves usadas en este estudio.

En cuanto a la gallina, posee un número menor de anillos traqueales, 108–126. Estos anillos están constituidos por cartílago hialino y son completos, al igual que en otras aves, como patos y pavos (Sisson & Grossman). Una diferencia significativa corresponde al ordenamiento de estos anillos. En la porción media de la tráquea de la gallina, estos anillos se superponen alternadamente (Sisson & Grossman). En cuanto al epitelio que tapiza internamente a la tráquea, presenta el mismo epitelio de revestimiento, pero a diferencia del avestruz, las glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa son reemplazadas hacia caudal por células caliciformes (Bacha & Bacha, 2001). En ambas especies la submucosa traqueal es muy delgada, de tejido conectivo laxo y no presenta glándulas.

Siringe. La siringe del avestruz se encuentra en la bifurcación de la tráquea, corresponde a los últimos anillos traqueales y los primeros semianillos de los bronquios extrapulmonares y al igual que éstos, los anillos de la siringe son cartilaginosos. Externamente se aprecia un aumento de volumen en esta zona debido al ordenamiento que adoptan los anillos en su transición desde la tráquea a los bronquios extrapulmonares. Se observan tres grupos de cartílagos, el timpano, traqueosiringeales, y broncosiringeales. Del mismo modo se observan tres engrosamientos de la mucosa, las membranas timpaniformes laterales, las membranas timpaniformes mediales que son análogas con los pliegues vocales de los mamíferos (Nickel *et al.*, 1977) y la membrana central o pessulus, observado y descrito también por Yildiz *et al.* (2003). En cuanto al pessulus, es un doble pliegue dorsoventral proyectado hacia la cavidad de la siringe, revestido por epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, lo cual coincide con lo descrito por Yildiz *et al.* Sin embargo, nosotros observamos además, criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa interpuestas en el epitelio. En el pessulus

del avestruz, no se observa tejido cartilaginoso ni óseo. En la gallina, el pessulus presenta un esqueleto de cartilago o tejido óseo (Sisson & Grossman; Bacha & Bacha).

Bronquios primarios extrapulmonares. En el avestruz éstos presentan diferencias morfológicas, donde el bronquio extrapulmonar derecho es más estrecho y horizontal que el izquierdo, que es más amplio y vertical (Maina & Nathaniel, 2001). Los bronquios extrapulmonares están revestidos internamente por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, que en la región medial donde confluyen los extremos de los semianillos de cartilago hialino, observamos además criptas con glándulas tubuloalveolares de secreción mucosa interpuestas. En cambio la gallina, posee simetría en sus bronquios tanto extra como intrapulmonares, poseen anillos cartilaginosos en forma de herradura con sus extremos unidos a través de musculatura lisa en la región medial. En su porción extrapulmonar la mucosa presenta escasas células caliciformes, que se hacen más abundantes en su porción intrapulmonar (Bacha & Bacha).

En los sacos aéreos adyacentes a estos bronquios primarios extrapulmonares, su mucosa posee epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, donde se puede observar también glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa en algunos sectores. En estos sacos aéreos la mucosa presenta un refuerzo de fibras colágenas de tipo I, constituyendo una capa tendínea. Esta capa tendínea de colágeno de tipo I ha sido observada en la subserosa del proventrículo del avestruz (Illanes *et al.*, 2006) y en la subserosa del abomasum en la llama (Illanes *et al.*, 1994).

Pulmones. Los pulmones del avestruz poseen en su cara costal seis impresiones, que corresponden desde el segundo al séptimo par de costillas (Demming; Maina & Nathaniel). Los pulmones de la gallina son simétricos y poseen solo cinco impresiones costales, del segundo al sexto par de costillas (Sisson & Grossman).

Bronquios primarios intrapulmonares o mesobronquios. En el avestruz están revestidos por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, interrumpido por criptas con glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. El cartilago hialino de su adventicia no se dispone en semianillos, sino en placas cartilaginosas que van disminuyendo de tamaño hasta desaparecer a nivel de los bronquios secundarios. A diferencia del avestruz, los bronquios intrapulmonares de la gallina presentan un epitelio simple prismático ciliado, con numerosas células de secreción mucosa (Bacha & Bacha).

Bronquios secundarios. Comunican los mesobronquios con los sacos aéreos. Están tapizados por un epitelio pseudoestratificado prismático ciliado con células caliciformes, con criptas profundas que terminan en glándulas tubuloalveolares simples de secreción mucosa. Bajo este epitelio, un corion de tejido conectivo denso. No posee cartilago hialino, sin embargo muestran manojos de musculatura lisa de disposición circular. Desde éstos se originan en el parénquima pulmonar los parabronquios. De acuerdo con lo señalado por Maina & Nathaniel, en el avestruz, cada bronquio intrapulmonar da origen a tres grupos de bronquios secundarios: dorsales, ventrales y laterales. En el caso de la gallina, cada bronquio intrapulmonar da origen a cuatro grupos de bronquios secundarios: medio dorsal, medio lateral, latero ventral y latero dorsal (Sisson & Grossman) y tapizados por un epitelio simple prismático ciliado con células mucosas (Bacha & Bacha).

Parabronquios o bronquios terciarios. Los parabronquios del avestruz presentan un epitelio simple cúbico bajo sobre una delgada capa conectiva. Luego una capa de musculatura lisa de disposición helicoidal en sentido horario y antihorario. Desde esta mucosa bronquial se originan diversas dilataciones o cavidades denominadas atrios, que conducen el aire hacia los capilares aéreos coincidiendo con lo señalado por Maina y Nathaniel. Los parabronquios en la gallina están recubiertos por el mismo tipo de epitelio, con abundante presencia de atrios (Sisson & Grossman; Bacha & Bacha).

Capilares aéreos. Los capilares aéreos del avestruz y de la gallina son muy similares, presentan un epitelio simple, donde se observan células planas (neumocitos de tipo I) y células cúbicas (neumocitos de tipo II) semejante al epitelio de los alvéolos pulmonares en mamíferos (Bacha & Bacha).

Este estudio presenta algunas características histológicas del aparato respiratorio en el avestruz. A través del análisis comparativo se pudo establecer similitudes y diferencias con la gallina, con especial énfasis en la capa mucosa. Aunque muchas de sus características nos recuerdan a las observadas en otras especies de aves, algunas diferencias fueron observadas.

AGRADECIMIENTOS

A Frigoríficos Caren, por su cooperación, tanto con el material biológico como su disposición, sin ello no hubiera sido posible este análisis.

ILLANES, J.; LEITCHLE, J.; LEYTON, V.; TAPIA, L. F.; FERTILIO, B. & CASTRO, M. Histologic description of the different segments from the ostrich respiratory system (*Struthio camelus* var. *Domesticus*). *Int. J. Morphol.*, 32(4):1325-1336, 2014.

SUMMARY: Due to the growing interest of the ostrich industry (*Struthio camelus* var. *domesticus*) and the scarce bibliographic material related to morphology of the respiratory system of the ostrich, we carried out a comparative analysis of the laryngotracheal pulmonary segment of this bird. The research was conducted in six clinically healthy ostriches from which representative samples of the laryngotracheal pulmonary segment were obtained. Samples were processed using standard histological technique and a comparative morphological analysis between ostriches and chicken (*Gallus gallus*) was performed. In the ostrich, the arytenoid cartilage is double and placed in a dorsal and cranial position in relation to the larynx while the cricoid cartilage is single and situated in a ventral and caudal position. Like the chicken, the procricoid cartilage is also present. The trachea exhibits a greater number of rings compared to the chicken. At the syrinx level, the pessulus is made up of a dorso-ventral double-fold of mucous membrane with a lamina propria of dense connective tissue over a thick adipose layer. Unlike the chicken the ostrich pessulus does not contain any ossified or cartilaginous tissues. The mucosa between the larynx and secondary bronchi has a pseudostratified prismatic ciliated epithelium with mucous goblet cells with crypts and simple tubuloalveolar mucosal glands for mucous secretion. In the extrapulmonary primary bronchi this histological feature is observed only in the medial aspect where the ends of the cartilaginous rings are found. The remaining mucosa of these bronchi has a pseudostratified prismatic ciliated epithelium with mucous goblet cells. Aerial sacs show this histological feature in some sectors.

KEY WORDS: Ostrich; Histology; Respiratory System.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bacha, W. J. & Bacha, L. M. *Atlas Color de Histología Veterinaria*. 2ª ed. Buenos Aires, Intermédica, 2001.
- Bezuidenhout, A. J. *Anatomy*. In: Deeming, D. C. (Ed.). *The Ostrich, Biology, Production and Health*. Wallingford, CABI Publishing, 1999, pp.13-49.
- Camiruaga Labatut, M. *El Avestruz: Sistema de Producción en Chile*. Santiago, Fundación para la Innovación Agraria, 2004.
- Deeming, D. C. *El Avestruz Biología, Producción y Sanidad*. Zaragoza, Acribia, 2001.
- Huchzermeyer, F. W. *Patología de avestruces y otras ratites*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1999.
- Illanes, J.; Vigneaux, I. M.; Adaro, L.; Olivares, R.; Mendoza, J. & Riveros, V. Análisis morfológico comparado de la región fúndica entre un cánido (*Canis familiaris*) y un camélido suramericano (*Lama glama*). *Rev. Chil. Anat.*, 12(2):161-7, 1994.
- Illanes, J.; Fertilio, B.; Chamblas, M.; Leyton, V. & Verdugo, F. Histologic Description of the Different Segments from the Ostrich Digestive System (*Struthio camelus* var. *domesticus*). *Int. J. Morphol.*, 24(2):205-14, 2006.
- Maina, J. N. & Nathaniel, C. A qualitative and quantitative study of the lung of an ostrich, *Struthio camelus*. *J. Exp. Biol.*, 204(Pt. 13):2313-30, 2001.
- McLelland, J. *Larynx and trachea*. In: King, A. S. & McLelland, J. (Eds.). *Form and Function in Birds*. Londres, Academic Press, 1989.
- Nickel, R.; Schummer, A. Y. & Seiferle, E. *Anatomy of the domestic birds*. Berlin, Verlag Paul Parey, 1977. pp.65.
- Sisson, S. & Grossman, J. D. *Anatomía de los animales domésticos*. Tomo II. 5ª ed. México D. F., Masson, 2000.
- Yildiz, H.; Bahadir, A. & Akkoç, A. A study on the morphological structure of syrinx in ostriches (*Struthio camelus*). *Anat. Histol. Embryol.*, 32(3):187-91, 2003.

Dirección para Correspondencia:

Prof. Dr. Julio Illanes Herrero
Departamento de Morfología
Facultad de Medicina, Clínica Alemana-
Universidad del Desarrollo
Av. Las Condes 12.438
Lo Barnechea
Santiago
CHILE

Email: jillanes@udd.cl

Recibido : 30-06-2014

Aceptado: 22-09-2014