



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



67  
24°

MORFOFISIOLOGIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO  
DE LA GALLINA (Gallus gallus domesticus)  
ESTUDIO RECAPITULATIVO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE, PARA OBTENER EL TITULO DE  
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

P R E S E N T A N :

MARTINEZ MONTIEL ROSA MARIA  
SANCHEZ CORTES IRENE

DIRECTOR DE TESIS: M. V. Z. CARLOS I SOTO ZARATE



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

I. RESUMEN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. INTRODUCCION .....	3
IV. METODOLOGIA .....	5
V. MORFOLOGIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO DE LA GALLINA .....	6
a. Cavidad Nasal.....	6
b. Seno Infraorbitario .....	11
c. Glándula Nasal .....	12
d. Faringe .....	15
e. Laringe .....	17
f. Tráquea .....	22
g. Siringe .....	26
h. Pulmones .....	31
i. Sacos Aéreos .....	43
j. Huesos Neumáticos .....	51
VI. FISILOGIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO DE LA GALLINA .....	53
a. Fuerzas que mueven el aire a través de los pulmones .	53
b. Resistencia a la corriente del aire .....	54
c. Patrón y dirección del aire a través del pulmón aviar .....	55

d. Movimiento del aire desde los parabronquios a la sangre .....	62
e. Sistema de intercambio a contracorriente .....	64
f. Termoregulación .....	65
VII. BIBLIOGRAFIA .....	71

## RESUMEN

La presente tesis forma parte de un conjunto de proyectos que tienen como finalidad la descripción sistemática de la gallina.

La primera parte contiene la descripción de los órganos que integran el sistema respiratorio. Se inicia con la descripción macroscópica tomando como base, en relación a nomenclatura, a la Nómina Anatómica Avium de Baumel, 1979. Es importante considerar que existe gran diversidad de criterios y nomenclatura entre los diferentes autores consultados.

Esta descripción se complementa con una serie de dibujos y esquemas tomados de diversas bibliografías.

Inmediatamente después, se presenta una descripción de la anatomía microscópica, en la cual se hace énfasis en las diferencias más importantes que existen en relación con los mamíferos.

En la segunda parte se presenta información sobre la fisiología de la respiración; se menciona el papel de las estructuras involucradas en el paso del aire tanto a la inspiración como a la espiración, patrón de flujo de la corriente de aire, movimiento del aire de los parabronquios a los infundibulos, sistema de intercambio a contracorriente y el papel de la respiración en la termoregulación.

También se anexan esquemas y dibujos que ayudan a complementar el tema.

## II. OBJETIVOS

- a).- Colaborar con la actualización de los conocimientos morfofisiológicos de esta especie.
  
- b).- Sentar las bases morfológicas para futuros estudios en el área.
  
- c).- Elaborar un trabajo con la información recopilada, el cual, podrá servir como material de apoyo en las asignaturas de: Anatomía Comparada, Citología, Embriología e Histología, Anatomía Topográfica, Fisiología Veterinaria y Zootecnia de Aves.
  
- d).- Se buscará brindar información útil a aquellas personas dedicadas a la práctica profesional de esta especie.

### III. INTRODUCCION

Es indudable que la gallina es una de las especies domésticas que tienen gran importancia económica en la producción del país. Como ejemplo de lo anterior el Servicio Nacional de Información y mercados informa que en el mes de enero de 1990 se sacrificaron un total de 289.491 pollos de engorda; considerando un peso promedio de 2 kg. a un precio promedio de \$ 6225/kg. obtenemos un total de \$ 3,604,162,950 en ventas totales, en tan sólo el mes de enero (Servicio Nacional de Información y mercados, 1991).

Por otra parte, en el plan de estudios que se imparte en la F.E.S.C. existen asignaturas donde se debería de tratar el tema de la morfofisiología de las aves, tales como; Anatomía Comparada, Anatomía Topográfica y Fisiología Veterinaria, sin embargo, sólo se trata superficialmente. Así mismo, encontramos que existe poca información al respecto y ésta resulta ser contradictoria en nomenclatura y contenido, entre los diferentes autores.

Tratamos de colaborar en la actualización de los conocimientos morfofisiológicos de esta especie al condensar en un mismo trabajo a los diferentes autores, buscando rescatar aquellos conocimientos más adecuados tomando como criterio importante a nivel de nomenclatura a la Nómina Anatómica Aviar.

Uno de los propósitos de esta revisión es que resulte útil como material de apoyo en aquellas materias que requieran estudiar el tema y auxiliar a aquellos a los que no les es familiar el sistema respiratorio aviar a comprender varios conceptos

importantes del mismo y resaltar la relación tan importante entre la morfofisiología y la patogenia de las enfermedades que lo llegan afectar. Aquí es importante señalar que las enfermedades respiratorias ocupan un papel preponderante en la patología aviar.

Esta tesis, forma parte de un conjunto de trabajos que van a conformar una recapitulación de la morfofisiología de las aves. Consideramos importante la difusión del conocimiento por lo cual, se busca que esta información resulte adecuada tanto para el estudiante, como para el profesionalista dedicado a este campo.

## IV. METODOLOGIA

- a).- Una vez seleccionado el tema se procedió a la delimitación de los objetivos.
- b).- Se recopiló material del tema en libros y revistas.
- c).- Se seleccionó el material específico.
- d).- Se llevó a cabo la traducción de los mismos.
- e).- Se realizaron fichas bibliográficas
- f).- Una vez que se reunieron un número suficiente de fichas para cubrir los objetivos, se procedió a revisarlas y organizarlas.
- g).- Con el fin de revisar y organizar el material recopilado de una manera sistemática, se realizaron fichas de trabajo las cuales contienen la siguiente información; referencia bibliográfica, referencia textual y un comentario personal.
- h).- Se elaboró la redacción del trabajo.
- i).- Se seleccionaron y realizaron las figuras y esquemas que complementan la comprensión del tema.

## V. MORFOLOGIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO DE LA GALLINA.

### a. CAVIDAD NASAL (figuras 1, 2, 3, 4 y 5)

Tiene forma de cono con el vértice apuntando rostralmente. Presenta un techo óseo formado por los delgados procesos nasales de los incisivos (Baumel, 1979; Blin, 1964; Dyce, 1987 ).

El piso óseo se forma solamente en el tercio apical; se constituye por los procesos palatinos de los huesos maxilares e incisivos, los cuales son rudimentarios, y por la lámina corta del vómer dentro del plano mediano ( Baumel, 1979; Blin, 1964 ). Rostralmente encontramos la nariz, la cual es un tubo estrecho elongado situado en el pico superior, está limitado dorsalmente por una lámina córnea, el opérculo. La abertura mide de 7 a 9 mm de largo y de 1 a 2 mm de ancho dorsoventralmente (Blin, 1964). Caudalmente, la cavidad nasal está limitada por los bulbos del ojo que están separados en el plano mediano por una delgada lámina ósea del tabique interorbitario del hueso etmoides (Blin, 1964).

La cavidad nasal está dividida, por un tabique cartilaginoso, el tabique nasal, que se fija sobre una débil extensión del vómer, y en las gallináceas guarda una amplia comunicación con la cavidad oral y farínge (Baumel, 1979; Blin, 1964).

De acuerdo con la Nomenclatura Anatómica Aviar se distinguen tres regiones dentro de la cavidad nasal, las cuales son:

A. Región vestibular: Contiene la concha nasal rostral que desciende oblicuamente hacia las coanas en forma de dos rollos

(Baumel, 1979; Blin, 1964).

B. Región respiratoria: Contiene la concha nasal media, la más voluminosa, que realiza una vuelta y media en forma de rollo (Baumel, 1979; Blin, 1964).

C. Región olfatoria: Contiene la concha nasal caudal, la más pequeña, que se origina de los huesos etmoides o de los huesos frontales, tiene una abertura caudolateral que comunica la cavidad nasal con el seno infraorbitario (Baumel, 1979; Blin, 1964).

#### HISTOLOGIA

La región vestibular está revestida de un epitelio estratificado escamoso con queratina y recibe la secreción de la glándula nasal (Baumel, 1979; Blin, 1964; Hodges, 1974).

La región respiratoria está revestida por un epitelio columnar ciliado pseudoestratificado con numerosas glándulas mucosas, simples o compuesta (Baumel, 1979; Blin, 1964; Hodges, 1974).

La región olfatoria está revestida por un epitelio pseudoestratificado (Baumel, 1979; Blin, 1964; Hodges, 1974).

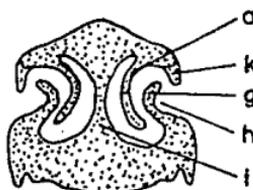
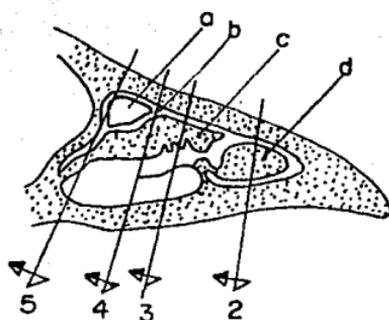
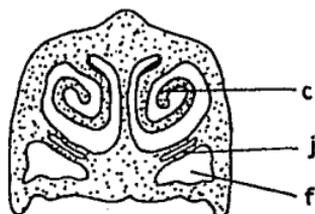
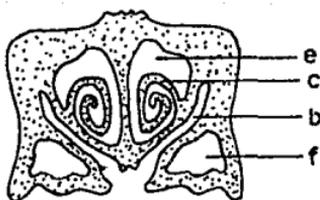
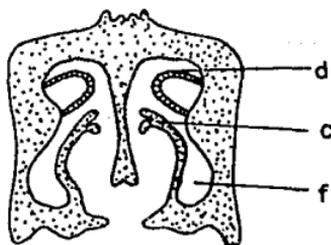
**FIGURA 1. Cavidad Nasal del pollo corte longitudinal.**

- a).- Concha nasal caudal
- b).- Cavidad nasal
- c).- Concha nasal media
- d).- Concha nasal rostral

**FIGURAS 2, 3, 4, 5. Cuatro secciones transversales de cavidad nasal.**

- a).- Concha nasal rostral
- b).- Ducto nasolagrimal
- c).- Concha nasal media
- d).- Concha nasal caudal
- e).- Cavidad nasal
- f).- Seno infraorbitario
- g).- Placa ventral de la narina
- h).- Narina
- i).- Tabique nasal
- j).- Ducto de la glándula nasal
- k).- Opérculo

Tomado de Blin (1964).

FIG. 1FIG. 2FIG. 3FIG. 4FIG. 5

#### b. SENO INFRAORBITARIO (figuras 1, 3, 4 y 5)

Este seno paranasal se sitúa dentro del ángulo rostral comprendido entre los huesos maxilar y nasal. Se extiende caudalmente, muy próximo al bulbo del ojo. Medialmente, reposa contra la pared lateral de la cavidad nasal. Su volumen es de algunas décimas de centímetro cúbico en la gallina. Su ubicación explica la frecuencia y la rapidez de la afección concomitante de este seno paranasal en la coriza infecciosa (Blin, 1964). El seno en repleción, comprime al ducto nasolagrimal contra el hueso frontal hasta obturarlo, de ahí la génesis del catarro conjuntival (Blin, 1964).

El ducto nasolagrimal alcanza la cavidad nasal por una abertura en forma de hendidura, situada sobre la concha nasal rostral (Baumel, 1979; Blin, 1964).

#### HISTOLOGIA

El epitelio del seno infraorbitario se forma de células columnares ciliadas y con unas cuantas glándulas mucosas simples. Sin embargo, la actividad glandular tiende a aumentar en el sitio de unión del seno con la cavidad nasal y a la vez las células epiteliales ciliadas llegan a ser más altas (Hodges, 1974).

### c. GLANDULA NASAL (figura 3)

La glandula nasal, par, de los gallos domesticos es larga, delgada, se extiende desde la orbita al extremo rostral del tabique nasal. La parte caudal de la glándula se sitúa dorsal al globo del ojo justo lateral al borde óseo de la órbita. Está profundamente embebida en tejido conectivo denso. Se continúa rostralmente a la pared lateral de la cavidad nasal pasando a través de la base de la concha caudal. A nivel de la pared rostral de la región respiratoria, surge un solo ducto de la glándula y cruza el piso de la cavidad nasal, opuesto a la región vestibular (Baumel, 1979; Blin, 1964; McLelland, 1965).

Está bien establecido que la glándula nasal actúa como órgano excretor de sal, también se le conoce como "glándula de sal", ya que secreta un líquido muy salado (30 g. de sal por litro). Está muy desarrollada en aves acuáticas y reptiles, sin embargo se cree que esta función no ocurre en aves terrestres, se relaciona más con la humectación del aire inspirado (Blin, 1964; McLelland, 1965).

### HISTOLOGIA

La glándula está rodeada por una cápsula de tejido conectivo que se extiende dentro de la glándula como trabéculas y finas ramificaciones en forma de red. En varios cortes de la glándula adulta el total de tejido conectivo representa más de la mitad del tejido glandular. Sostenido por el tejido conectivo está el sistema de ductos de la glándula, el cual puede ser dividido de

acuerdo al calibre de los ductos y a la naturaleza de su epitelio, en tres partes; los ductos terciarios, los ductos secundarios y el ducto principal (Blin, 1964; McLelland, 1965 y 1968).

Los ductos terciarios son los más pequeños y los más numerosos; se originan de los grupos secundarios y forman la terminación del sistema. No hay alveolos terminales, los ductos terciarios están longitudinalmente orientados dentro de los intersticios de la red de tejido conectivo fino rodeando alguno de los ductos mayores. A menudo el tejido conectivo está tan incrementado, que los ductos terciarios están muy separados entre sí. El epitelio del ducto terciario es de una sola capa de células cuboidales (Hodges, 1974; McLelland, 1968).

Los ductos secundarios son largos, de forma irregular y se sitúan longitudinalmente en el tejido conectivo trabecular. Se originan directamente del ducto principal, y frecuentemente ramifican. Su epitelio consiste de dos capas de células; Las células de la capa basal son cuboidales y ocasionalmente escamosas, mientras que las de la capa superficial son columnares ó cúboidales con núcleo basal, los núcleos de las células columnares son muy elongados y alineados en ángulo recto a la superficie de las células. Ocasionalmente el epitelio es estratificado (Hodges, 1974; McLelland, 1968).

La mayoría de las aves tienen un lóbulo lateral y un lóbulo medial, en la gallina doméstica sólo está presente el lóbulo medial con su ducto. El ducto principal está limitado por una

sola o doble capa de células columnares. El epitelio de los ductos principales consiste de dos capas de células columnares, y el del lóbulo lateral consiste en una sola capa de células cuboidales (Hodges, 1974; McLelland, 1968).

#### d. FARINGE (figura 6)

Debido a que las aves no tienen paladar blando, las cavidades oral y faringea de las aves forman una cámara, frecuentemente referida como orofaringe. En el techo de la cavidad faringea encontramos la abertura infundibular, la cual se localiza caudalmente a la coana, esta abertura conduce a una cavidad estrecha llamada infundíbulo auditivo. En esta cavidad se localiza la presencia de la tonsila faringea y la abertura del tubo auditivo común (Baumel, 1979).

En el piso de la faringe localizamos la prominencia laríngea, la cual tiene forma de un montículo notorio, el cual denota la presencia de la laringe (Baumel, 1979; King, 1965).

El límite dorsal entre las cavidades oral y faringea se sitúa entre la coana y la abertura infundibular, en el pollo, localizamos una hilera de papilas. El límite ventral coincide con la hilera transversa de papilas linguales (Baumel, 1979).

#### HISTOLOGIA

Está limitada por varias capas de epitelio escamoso estratificado, generalmente sin queratina. La tela submucosa puede ser dividida en una densa túnica propia y una submucosa con numerosas glándulas salivales situadas en la base de la túnica o dentro de la submucosa. Las capas ubicadas bajo la tela submucosa varían considerablemente de acuerdo al área examinada. La parte dorsal del techo de la faringe apoya parcialmente a la cavidad nasal y así, donde esto ocurre una capa de epitelio nasal

está sobrepuesta sobre la tela submucosa. En las paredes laterales la tela submucosa es rápidamente reemplazada por tejido subdérmico y debajo del piso de la faringe hay grandes fascículos de músculo estriado asociado con el hioides y la base de la lengua. En la unión entre la faringe y el esófago se originan capas musculares que corresponden a la muscular de la mucosa y a la muscular externa, dichas capas pasan a la pared del esófago (Hodges, 1974).

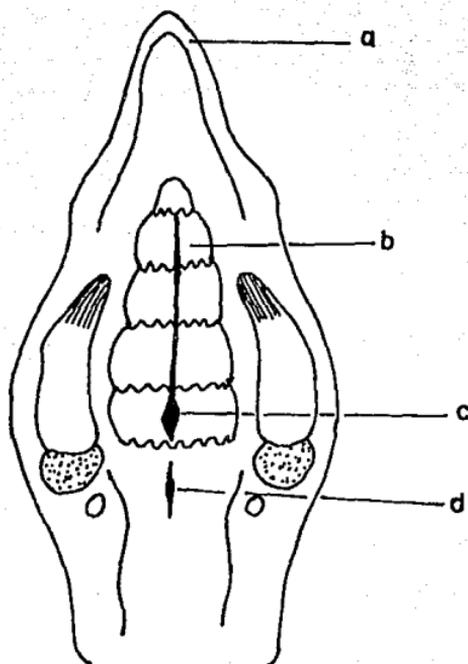


FIGURA 6. VISTA VENTRAL DEL TECHO DE LA CAVIDAD ORAL Y FARINGE.

- a).- Parte maxilar del pico
- b).- Paladar duro
- c).- Fisura palatina
- d).- Abertura infundibular

Tomada de Blin (1964).

e. LARINGE (figuras 7 y 8)

La laringe se proyecta dorsalmente desde la región caudal del piso faringeal en forma de un montículo notorio, la prominencia laríngea. En la gallina la parte rostral de la prominencia laríngea se sitúa inmediatamente ventral a la parte caudal de la abertura coanal, durante la eupnea (Blin, 1964; Freeman, 1971).

La entrada de la laringe conduce a la cavidad laríngea, la cual está comprimida dorsoventralmente. No existen pliegues vocales, epiglotis, ni cartilago tiroides. Sólo están representados los cartilagos cricoides, procricoides y aritenoides, junto con el aseguramiento de sus ligamentos y músculos (Baumel, 1979; Blin, 1964; King, 1965).

CARTILAGO CRICOIDES.- Tiende a una osificación precoz, se constituye de una placa cricoidea ventral, semicircular y de placas laterales que se unen por tejido fibroso. Además, presenta una lámina dorsal que constituye una articulación móvil (sinovial), con los cartilagos aritenoides (Blin, 1964).

CARTILAGOS ARITENOIDES.- Se compone de dos porciones que se unen; una porción invariablemente osificada en forma de triángulo y una porción cartilaginosa delgada (Blin, 1964).

Los músculos intrínsecos causan la redondez de la prominencia laríngea. Los músculos intrínsecos profundos abrazan la parte caudal de la entrada como una herradura. Estando insertos en puntos rostral y caudal a la laringe, los músculos extrínsecos mueven rostral y caudalmente a la laringe (Freeman, 1971).

**HISTOLOGIA**

Presenta un epitelio columnar ciliado pseudoestratificado y adenomas alveolares mucosos superficiales. Dentro de la lámina propia se observan nódulos linfáticos (Baumel, 1979; Freeman, 1971).

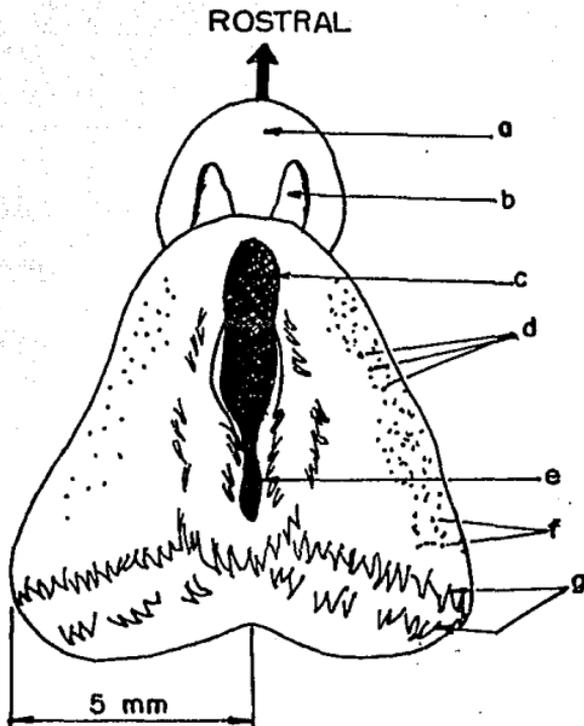


FIGURA 7. VISTA DORSAL DE LA PROMINENCIA LARÍNGEA EN EL GALLO ADULTO.

- a).- Punta cartilaginosa del cricoides
- b).- Proceso rostral del aritenoides
- c).- Entrada de la laringe
- d).- Glándulas salivales laterales
- e).- Fisura laríngea
- f).- Glándulas salivales caudales
- g).- Hilera de papilas transversas

Tomada de White. (1972).

**FIGURA 8. CORTE TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL DE LA LARINGE.**

- a).- Procricoides
- b).- Ala del cartilago cricoides
- c).- Cuerpo del cartilago cricoides
- d).- Proceso rostral del cartilago aritenoides
- e).- Proceso caudal del cartilago aritenoides
- f).- Ligamento aritenogloso
- g).- Lumen de la laringe

Tomada de Blin (1964).

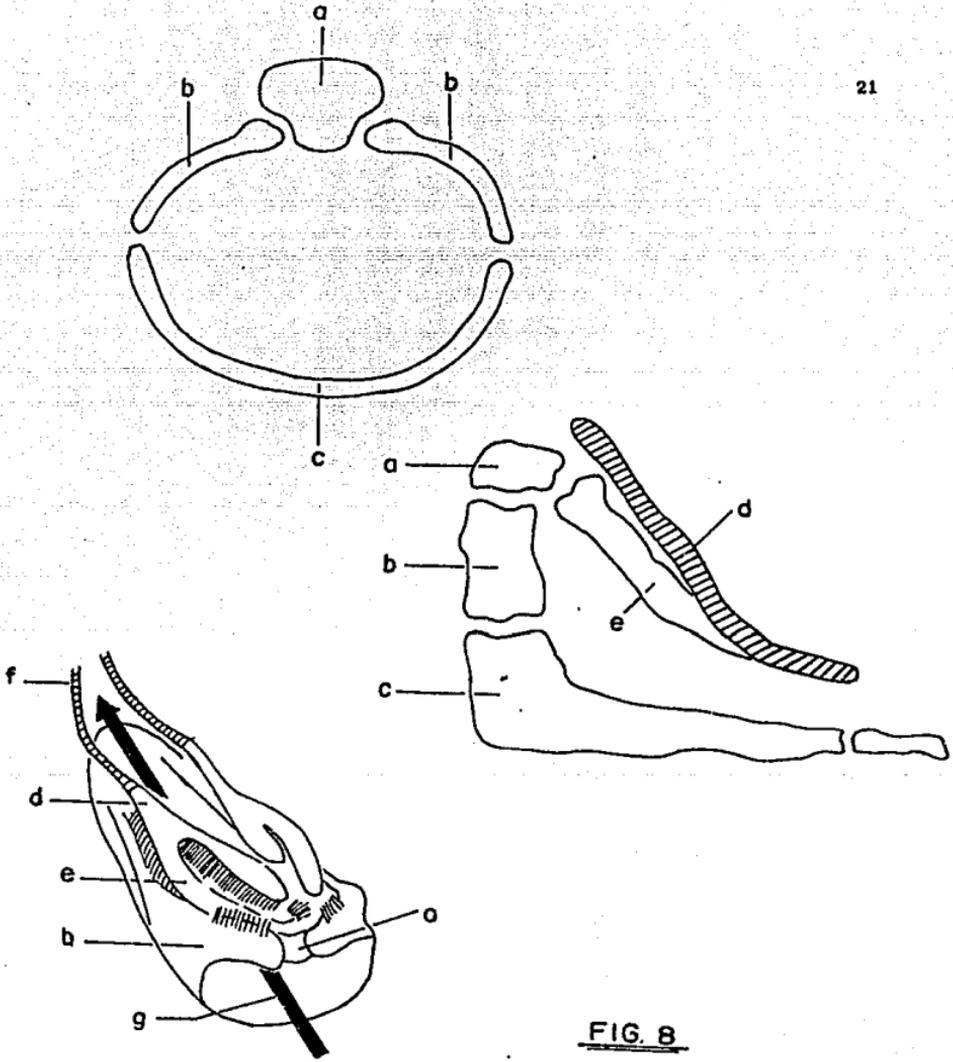


FIG. 8

#### f. TRAQUEA (figura 9)

Es un tubo largo que se extiende desde la laringe hasta la siringe. Al inicio se sitúa en la línea mediana, ventral al esófago, pero después de unos 3-5 cm pasa al lado derecho del cuello y al llegar a la entrada del tórax vuelve a la línea mediana. El número de anillos varía entre 100 y 130, son cartilagosos, completos y están sobrepuestos. Esta disposición previene la compresión, pero permite la elongación y flexión de la tráquea. Los cartilagos traqueales tienen una parte ancha formando la mitad izquierda ó derecha de su circunferencia y, otra parte más angosta, formando la otra mitad, sus bordes rostral y caudal son muy delgados. El primer anillo tiene sus lados izquierdo y derecho iguales en anchura y una superficie dorsal excepcionalmente angosta (Blin, 1964; Freeman, 1971; McLelland, 1965).

A partir del segundo anillo, la amplitud de las partes anchas y angostas aumenta progresivamente hacia el tercio caudal, las partes anchas de los anillos se colocan alternativamente hacia la derecha e izquierda. La sobreposición ocurre porque la parte ancha de cada anillo cubre parcialmente las partes angostas de los anillos adyacentes. No hay sobreposición entre los últimos cuatro anillos (Freeman, 1971).

El cuarto rostral de la tráquea es de forma oval excepto en los últimos milímetros, el resto es circular. En su porción terminal la tráquea llega a ser verticalmente oval y esta forma se

continúa en la siringe. Su calibre disminuye progresivamente desde el primero al último anillo (Blin, 1964; Freeman, 1971).

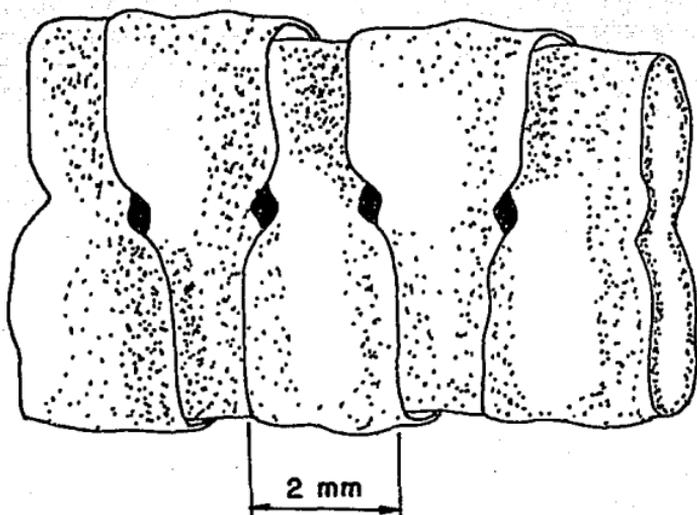
#### MUSCULOS

Los músculos de las vías aéreas superiores se dividen usualmente en músculos de la tráquea y músculos de la siringe, pero esta división no es real. Un músculo que tiene un amplio contacto con la tráquea podría ser llamado músculo traqueal. Aún y cuando al actuar sobre la tráquea, actúa indirectamente sobre la siringe y podría, por lo tanto, ser considerado músculo de la siringe. Así pues, la Nómina Anatómica Aviar considera los siguientes músculos de la tráquea:

- Músculo Esternohioideo. Se origina del proceso craneolateral del esternón y termina, en gallos, en la laringe y la parte más craneal de la tráquea (Baumel, 1979; McLelland, 1965).
- Músculo Esternotraqueal. Se origina del proceso craneolateral del esternón y termina en el cartilago cricoides, tráquea y siringe (Baumel, 1979; McLelland, 1965).
- Músculo Cleidotraqueal. Se origina en la clavícula y termina en el aparato hiobranquial, cartilago cricoides y tráquea. Este músculo es mencionado por algunos autores como músculo Ypsilotraqueal (Baumel, 1979; Blin, 1964).
- Músculo Traqueolateral. Se origina de los cartilagos traqueales y la siringe y termina en el cartilago cricoides y siringe (Baumel, 1979).

## HISTOLOGIA

Internamente la tráquea está limitada por un epitelio columnar ciliado pseudoestratificado con numerosas glándulas mucosas alveolares simples. Las células basales del epitelio tienen núcleo redondo o irregular, mientras que las células más superficiales, las células ciliadas, tienen núcleo oval o elongado. Las células de las glándulas mucosas son típicas células de secreción mucosa. Tienen grandes núcleos basales redondeados y un citoplasma espumoso con numerosas vacuolas redondas. En la mucosa de la porción caudal de la tráquea, la que limita con la siringe, las glándulas mucosas son reemplazadas por exocrinocitos caliciformes. La lámina propia consiste de tejido conectivo denso irregular que contiene muchos vasos sanguíneos y células linfoides. Esta capa se continúa con una submucosa densa la cual contiene muchas fibras elásticas, ésta a su vez se continúa con el pericondrio de los cartilagos de los anillos y el órgano completo es rodeado por una túnica adventicia (Hodges, 1974).



**FIGURA 9. VISTA DORSAL DE LA TRAQUEA DE UNA GALLINA ADULTA.**

**Muestra la sobreposición de los cartilagos traqueales.**

**Por McLelland (1965).**

g. SIRINGE (figuras 10 y 11)

Es el órgano del canto, que está situado en el extremo de la tráquea justo a la entrada de la cavidad celómica y suspendido dentro del saco aéreo clavicular. Se compone de cartilagos siríngiales, los cuales son:

Cartilagos traqueales siríngicos. Ellos pueden estar modificados en varias formas, pero especialmente por tener mayor ó menor aproximación entre ellos. En gallos hay aproximadamente ocho cartilagos traqueales siríngicos; los tres ó cuatro más craneales son fuertes y curvados y forman el timpano, los cuatro más caudales son muy delgados y aplanados (Baumel, 1979).

Cartilagos bronquiales siríngicos. Estos elementos se sitúan caudalmente a la bifurcación de la tráquea y constituyen el esqueleto de los bronquios primarios; de tal manera que son pares, incompletos y en forma de C, se diferencian de los cartilagos bronquiales verdaderos, los cuales le siguen caudalmente, por ser relativamente anchos en forma irregular con extremos extendidos y de un diámetro mayor. Una característica adicional es que sus terminaciones soportan la membrana timpaniforme medial. Hay tres cartilagos bronquiales siríngicos en aves (Baumel, 1979).

Cerrojo (Pessulus). Tiene forma de cufa, está situado en la línea mediana y divide el lumen de la tráquea en dos bronquios primarios (Baumel, 1979; Freeman, 1971).

Las paredes medial y lateral de la siríngica se completan con dos

pares de delgadas membranas vibrátiles, las membranas timpaniformes medial y lateral (Freeman, 1971).

La membrana timpaniforme medial corre desde el cerrojo hacia el extremo de los primeros tres cartilagos bronquiales siringeos. Caudal al tercer cartilago bronquial la membrana medial se continúa con el tejido fibroso, relativamente grueso de la pared medial bronquial (Freeman, 1971).

La membrana timpaniforme lateral corre desde el último cartilago traqueal siringeo al primer cartilago bronquial siringeo. Dado que estos cartilagos son muy delgados y flexibles, el lumén es fácilmente reducido o aún obliterado por compresión, como sucede cuando el gradiente de presión aumenta entre el saco claviclar y el lumén de la siringe (Freeman, 1971).

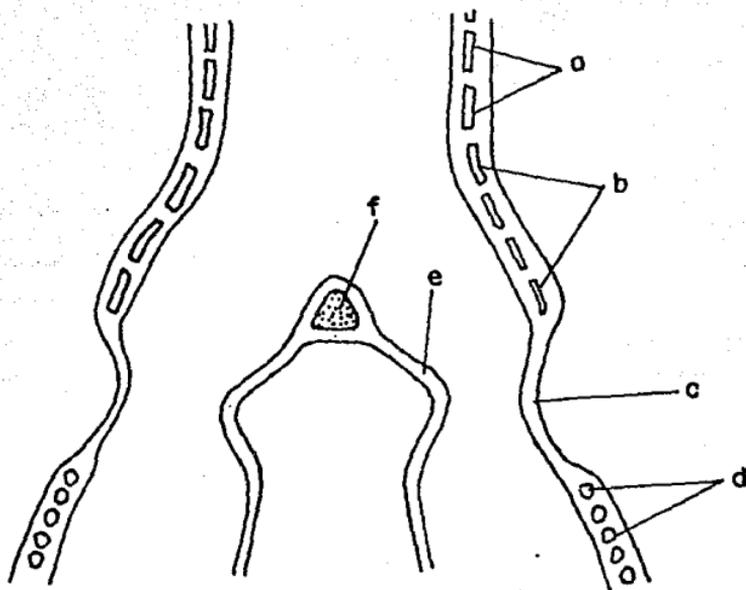
#### HISTOLOGIA

La estructura de la porción central de la membrana timpaniforme lateral es como sigue: internamente la mucosa consiste de una sola capa de células cuboidales o aplanadas con pocos exocriocitos caliciformes dispersos entre ellas. Las células ciliadas son infrecuentes. Debajo está una capa de fibras elásticas gruesas y después otra capa de fibras de colágeno fino y fibras elásticas. En esta capa corren vasos sanguíneos y se encuentran dispersas células de músculo liso. Una capa final consiste de fibras de colágeno grueso entremezcladas con fibras elásticas, limitado por un epitelio escamoso (Hodges, 1974). Pasando hacia los bordes craneal y caudal de la membrana, la capa

mucosa gradualmente llega a ser pseudoestratificada. Las células llegan a ser más altas y ciliadas y son más frecuentes los exocrinocitos caliciformes (Hodges, 1974).

Aunque los músculos de la tráquea ayuden en la producción del canto, ninguno de ellos está en contacto directo con las membranas timpaniformes (Hodges, 1974).

Además de las membranas timpaniformes y aquellos elementos esqueléticos los cuales están fusionados, todas las interconexiones entre las diferentes partes de la siringe son por medio de gruesas bandas de tejido fibroso elástico (Hodges, 1974).



**FIGURA 10. SECCION HORIZONTAL DE LA SIRINGE.**

- a).- Timpano
- b).- Cartilagos traqueales siringeos
- c).- Membrana timpaniforme lateral
- d).- Cartilagos bronquiales siringeos
- e).- Membrana timpaniforme medial
- f).- Pessulus

Tomada de Blin (1964).

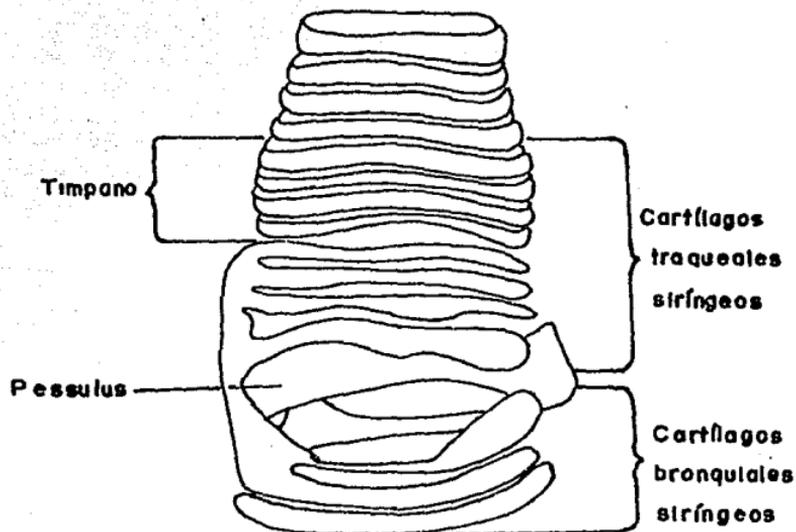


FIGURA 11. VISTA LATERAL DEL LADO IZQUIERDO DE LOS CARTILAGOS SIRINGIALES DEL GALLO.

Por King (1975) y Myers (1917).

#### h. PULMONES (figuras 12, 13 y 14)

Son órganos planos cuadrilaterales, relativamente pequeños, sin lóbulos, rojos brillantes, suaves y aterciopelados al tacto. Ocupan la parte craneodorsal de la cavidad corporal, situándose sobre las paredes laterales de las vértebras torácicas, se adosan al techo de la cavidad torácica a la cual están adheridos. No hay cavidad pleural como en los mamíferos y la capacidad de expansión es insignificante. Los surcos presentes en su región dorsal se deben al apoyo de las costillas IV, V, VI y VII. Cada pulmón contiene un bronquio primario, bronquios secundarios, parabronquios e innumerables capilares aéreos, junto con el suministro vascular y nervioso pulmonar y bronquial (Baumel, 1979; Dyce, 1987, Freeman, 1971).

Los pulmones son los órganos de intercambio gaseoso del sistema respiratorio. Ellos no se expanden ni contraen durante el ciclo respiratorio, como los pulmones de los mamíferos. En lugar de ello, el gas se mueve a través de los pulmones aviares durante el ciclo respiratorio, en su camino hacia y desde los sacos aéreos (Fedde, 1980; Sturkie, 1986).

Los bronquios primarios extrapulmonares se originan en la siringe, penetran al pulmón por el hilio y, finalmente, terminan en el saco aéreo abdominal. Durante su trayecto intrapulmonar emite de 40 a 50 bronquios secundarios, los cuales están subdivididos de acuerdo a las áreas generales del pulmón que suministran: medioventrales, mediodorsales, lateroventrales y

laterodorsales (Baumel, 1979; Blin, 1964; Dyce, 1987).

Hay usualmente cuatro bronquios medioventrales, los cuales se originan inmediatamente después que el bronquio penetra al pulmón. El primero envía una rama a la superficie para conectarse directamente con el saco aéreo cervical; el tercero se conecta de una manera similar con los sacos clavicular y torácico craneal. El resto no tienen conexión con sacos aéreos (Blin, 1964; Dyce, 1987).

De la pared dorsal del bronquio primario se originan ocho bronquios mediodorsales; los cuales no tienen conexión con sacos aéreos (Blin, 1964; Dyce, 1987).

Aproximadamente ocho bronquios lateroventrales se originan opuestos al grupo precedente. Uno, el más grande, envía una rama a la superficie para conectarse directamente con el saco aéreo torácico caudal (Blin, 1964; Dyce, 1987).

Finalmente, cerca de 25 bronquios laterodorsales se originan opuestos a los grupos mediodorsal y lateroventral. Estos son más pequeños que los tres grupos precedentes y no tienen conexión directa con sacos aéreos (Baumel, 1979; Dyce, 1987).

Los bronquios secundarios emiten de 300 a 500 parabronquios, los cuales se dirigen medialmente dentro del pulmón constituyendo paquetes densos de tubos anastomosados entre sí. Los parabronquios que se originan de los bronquios mediodorsal y medioventral se interconectan para formar giros de diferente longitud. Estos giros, los cuales están estrechamente

relacionados y paralelos, constituyen unas tres cuartas partes del tejido pulmonar y forman la división funcional conocida como el paleopulmón. Los parabronquios de los bronquios laterodorsal y lateroventral forman una división funcional menos regular y más caudal, conocida como el neopulmón (Baumel, 1979; Blin, 1964; Dyce, 1987).

Los diámetros internos y externos de los parabronquios miden aproximadamente 1 mm y 2 mm respectivamente. Los parabronquios se anastomosan con vecinos de los cuales están separados por tabiques fenestrados. Numerosas extensiones (atrios) del lumen parabronquial dan origen a los capilares aéreos. Estos forman una densa red de giros interconectados que se extienden dentro del tabique interparabronquial. La anastomosis entre capilares aéreos de parabronquios adyacentes se llega a dar en aquellos sitios donde los tabiques son deficientes. Los capilares aéreos están íntimamente enterrascados con los capilares sanguíneos, las dos redes constituyen el grueso de la pared parabronquial (Baumel, 1979; Dyce, 1987).

El intercambio gaseoso ocurre a través de los capilares aéreos, los cuales cursan en una dirección radial desde el lumen parabronquial hacia la periferia del manto tisular. Así mismo, los capilares sanguíneos, ramas de la arteria pulmonar, se originan en la periferia del manto tisular de un parabronquio y cursan hacia el lumen. El enlace de los capilares aéreos y sanguíneos provee una gran área para el intercambio gaseoso. La

sangre arterial de los capilares sanguíneos es entonces colectada en vénulas, justo debajo del epitelio del lumen parabronquial (Sturkie, 1986).

Los capilares aéreos son, por lo tanto, homólogos con los alveolos del pulmón mamífero. Una diferencia esencial es que los capilares aéreos no son terminaciones del árbol respiratorio sino canales continuos que pueden recibir aire rico en oxígeno de una u otra dirección (Dyce, 1987).

#### HISTOLOGIA

La estructura de los bronquios es como sigue; dentro del pulmón el epitelio de los bronquios primarios llega a ser más alto y con un gran número de glándulas mucosas alveolares simples. Estas glándulas se presentan en gran número y bien desarrolladas, de tal forma que inicialmente la mucosa es muy profunda. Conforme los bronquios profundizan en el pulmón, las glándulas llegan a ser más altas, el epitelio más bajo y eventualmente las glándulas llegan a ser reemplazadas por exocriocitos caliciformes. Debajo del epitelio está una delgada lámina propia la cual contiene muchos vasos sanguíneos y puede también estar infiltrada con tejido linfóide. Frecuentemente se presentan grandes nódulos linfoides. La lámina contiene gran número de fibras elásticas las cuales forman una discreta capa de fibras circulares longitudinales. Debajo está una capa de músculo liso, aunque la orientación de las fibras musculares es principalmente circular,

frecuentemente se llegan a encontrar fibras dispuestas en forma diagonal y algunas veces longitudinalmente. King (1966) consideró que hay componentes longitudinal, circular y espiral dentro de las capas musculares. En los sitios donde hay láminas de cartilago, éstas se encuentran a nivel de la capa muscular. Debajo del músculo está otra capa de tejido conectivo y debajo de ella están los "lobulos pulmonares" (empaquetados). En todo el tejido conectivo y en la capa muscular encontramos numerosas fibras elásticas bien desarrolladas (Hodges, 1974).

Los bronquios secundarios están revestidos por un epitelio columnar ciliado, en el cual hay pocas glándulas mucosas, éstas son reemplazadas por exocrinocitos caliciformes. La lámina propia es similar a la del bronquio primario. Hay una delgada capa de fibras de colágena y elásticas, una capa bien desarrollada de músculo liso y una capa de tejido conectivo. El músculo no estriado (liso) forma una red de grandes bandas musculares en espiral y pequeñas bandas oblicuas (Hodges, 1974).

El epitelio de los parabronquios consiste de una capa de epitelio escamoso debajo del cual se sitúa una delgada capa de tejido conectivo. Debajo está una capa de músculo liso normalmente de 3 a 5 fibras de grosor y arregladas en paquetes. Los paquetes musculares forman grandes bandas espirales y pequeños grupos atriales irregulares, estos son cortos y estrechos, típicamente unen una gran banda con otra, su dirección es oblicua y forman la mayoría de los límites de las aberturas atriales. Fibras

elásticas bien desarrolladas se presentan por encima y debajo de la capa muscular y algunas atraviezan esta capa (Hodges, 1974). Los atrios están limitados por un epitelio que va de escamoso a cuboidal, sus células poseen un núcleo redondo u oval. Los atrios están normalmente adyacentes entre sí de tal forma que la delgada capa de tejido conectivo que apoya el epitelio es común a los atrios vecinos. Esta capa contiene fibras de colágeno y elásticas bien desarrolladas que se extienden alrededor del atrio. Ambas fibras se pierden rápidamente en los capilares aéreos. Pequeñas cantidades de fibras han sido detectadas en la entrada de estos ductos y rodeando algunos vasos sanguíneos. Encontramos paquetes de fibras reticulares finas asociados con los capilares sanguíneos. Sin embargo, ninguna fibra muscular que provenga desde la capa superficial se ubica entre los atrios (Hodges, 1974).

Estudios de microscopía electrónica han demostrado que hay dos tipos de células formando el epitelio del atrio y los capilares aéreos. Estos son: las células epiteliales del capilar aéreo, las cuales están restringidas al capilar aéreo, y las células de la pared atrial, las cuales están restringidas al atrio (Hodges, 1974).

El cuerpo de ambas células es de forma cuboidal y contienen núcleos redondos u ovales. Sin embargo, mientras que las células de la pared atrial sólo consisten de una región perinuclear cuboidal, las células epiteliales del capilar aéreo se extienden

desde la porción perinuclear como delgadas bandas de citoplasma. En los capilares aéreos estas vainas extensas de citoplasma forman la superficie respiratoria. Las células de la pared atrial contienen muchos cuerpos osmiofilicos y mitocondrias en su citoplasma y las células epiteliales del capilar aéreo contienen sólo unas cuantas mitocondrias y algo de reticulo endoplásmico (Hodges, 1974).

Evidencias químicas, histoquímicas y ultraestructurales indican que el pulmón de ave produce una sustancia surfactante en los parabronquios y atrios (Hodges, 1974).

La surfactante en el pulmón vertebrado parece estar íntimamente relacionada a estructuras laminares osmiofilicas, las cuales a su vez estan asociadas con células que limitan ciertas partes del pulmón. En aves, son mucho más extensas y numerosas en los atrios que en cualquier otra parte. Por lo tanto, la surfactante es muy abundante en los atrios. Por otra parte, las estructuras laminares osmiofilicas y las fibras elásticas son mínimas en el área de intercambio, sugiriendo que esta región es relativamente inmóvil. Las estructuras laminares osmiofilicas son ausentes en el tracto respiratorio superior (Freeman, 1971).

Las estructuras laminares osmiofilicas tienen las siguientes variedades:

a) Inclusiones laminares intracelulares. Estas se presentan dentro de las células que limitan el atrio y posiblemente aquellas que limitan los parabronquios. Algunas alcanzan la

superficie de la célula y éstas pueden ser las depresiones visibles en el microscopio electrónico de Barrido (Freeman, 1971).

b) Superficies laminares múltiples. Se sitúan en la superficie de los atrios, pero también han sido vistas, aunque raramente, sobre las células epiteliales de los capilares aéreos en pollos jóvenes y en pavos. Nowell (1970), sugiere que la superficie rugosa de lo atrios, podría deberse a variaciones en el grosor de estas láminas (Freeman, 1971).

c) Invaginaciones intracelulares de láminas superficiales. Estas comprenden unas cuantas (de 3 a 4) láminas, íntimamente empacadas dentro de las células epiteliales de los capilares aéreos (Freeman, 1971).

d) Lámina superficial sencilla. Consiste de una sola lámina, la cual se sitúa muy cerca, pero externamente a la unidad de membrana de las células epiteliales, de los capilares aéreos. Es difícil de demostrar, pero se cree que forma una capa continua sobre toda la superficie de los capilares aéreos en el pollo y en el ganso (Freeman, 1971).

Estudios químicos, fisicoquímicos y de microscopía electrónica sugieren que la surfactante mamífera existe como una compleja unidad laminar, cada lámina es muy similar a la unidad de membrana celular. Las evidencias sugieren que cada una de las estructuras laminares del pulmón aviar consiste de tres capas y se asemeja a la unidad de membrana celular excepto por ser relativamente más gruesa y más densa. La lámina es probablemente

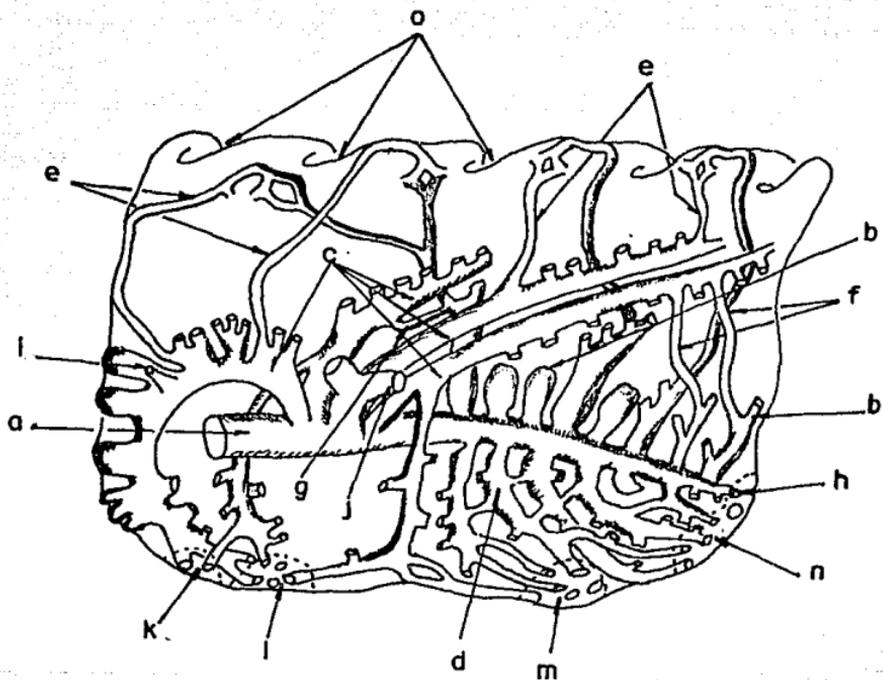
En el intersticio entre los capilares aéreos y los capilares sanguíneos se encuentran aislados y distribuidos aleatoriamente algunos macrófagos, estas células son llamadas células alveolares, poseen un diámetro promedio de 5.3 micrómetros y se encuentran en varias formas de acuerdo al espacio tisular que ocupan. El citoplasma puede ser vacuolado o no, en la mayoría de los casos la causa de esa aparente vacuolización son numerosas gotas de lípidos (Hodges, 1974).

De cada atrio hay ramas de los capilares aéreos las cuales pasan externamente y se ramifican frecuentemente de tal modo que la porción externa del pulmón consiste de una masa densamente empaquetada de finos capilares aéreos y capilares sanguíneos entremezclados. La capa limitante de los capilares aéreos rápidamente reduce su grosor y eventualmente llega a ser inaparente cuando se observa con el microscopio de luz. Estudios recientes de microscopía electrónica han demostrado que hay una capa continua de citoplasma limitando los capilares aéreos más finos y que esta capa se encuentra separada del endotelio de los capilares sanguíneos por una membrana basal (Hodges, 1974).

FIGURA 12. Vista ventromedial del pulmón derecho de un pollo adulto donde muestra el bronquio primario y los principales bronquios secundarios, ejemplos de parabronquios y las conexiones a los sacos aéreos.

- a).- Bronquio primario intrapulmonar
- b).- Bronquio secundario caudodorsal
- c).- Bronquio secundario craneomedial
- d).- Bronquio secundario caudoventral
- e).- Parabronquios superficiales
- f).- Parabronquios intermedios
- g).- Parabronquios profundos
- h).- Conexión directa al saco abdominal
- i).- Conexión directa al saco cervical
- j).- Conexión directa al saco torácico craneal
- k).- Ostium del saco clavicular
- l).- Ostium del saco torácico craneal
- m).- Ostium del saco torácico caudal
- n).- Ostium del saco abdominal
- o).- Impresiones provocadas por las costillas vertebrales II- VI.

Tomada de King (1966).



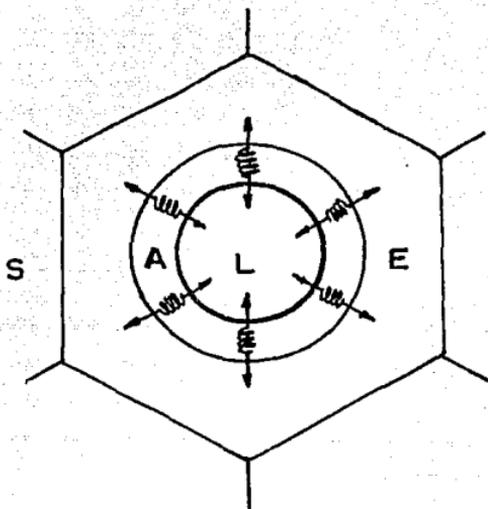


FIGURA 13. DIAGRAMA DE LAS FUERZAS QUE ACTUAN EN LA REGION ATRIAL DE LOS PARABRONQUIOS.

Las flechas que apuntan hacia el lumen indican el tono del músculo bronquial (círculo más remarcado). Las flechas que apuntan hacia el área de intercambio muestran las fuerzas de la tensión superficial presente dentro de los capilares aéreos. Las líneas espirales representan las fibras elásticas localizadas en las paredes de los atrios y cuya función es balancear estas dos fuerzas antagónicas.

L).- Lumen del parabronquio

A).- Atrio

E).- Área de intercambio

S).- Septo interlobular

Tomada de Freeman (1971).

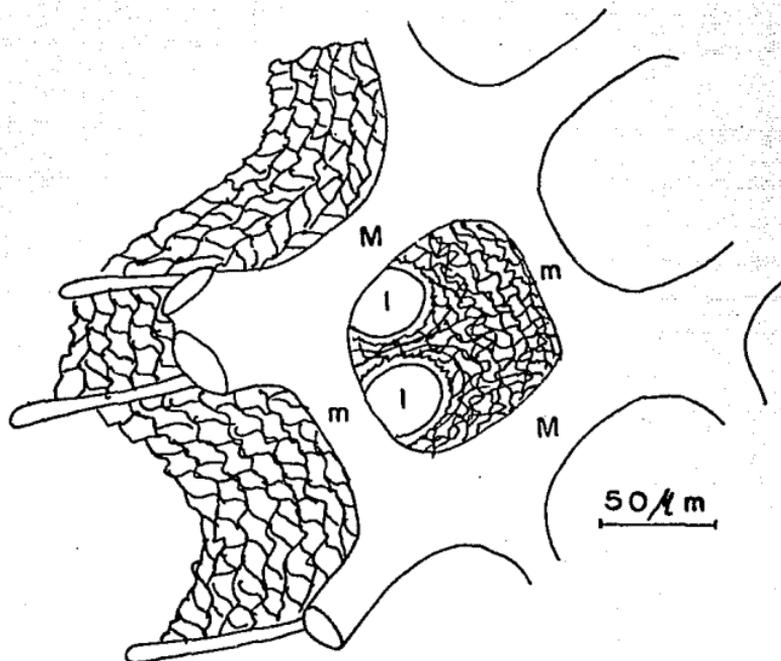


FIGURA 14. VISTA SEMIESQUEMATICA DE UN ATRIO MOSTRANDO LA RED DE FIBRAS ELASTICAS EN SUS PAREDES Y PISO.

- M).- Fasciculos espirales de músculo bronquial  
 m).- Músculo atrial uniendo dos músculos bronquiales  
 I).- Infundibulo

Tomada de Freeman (1971).

## 1. SACOS AEREOS (figuras 15 y 16)

Los sacos aéreos son prolongaciones del sistema bronquial, transparentes, frágiles, distensibles pasivamente y de pared delgada. Se extienden más allá del pulmón en estrecha relación con las vísceras torácicas y abdominales. Algunos divertículos de estos sacos penetran diferentes huesos y se extienden entre los músculos esqueléticos y dentro de la raíz de las plumas. Existen 8 sacos aéreos: Cervical (impar), Clavicular (impar), Torácico Craneal (par), Torácico Caudal (par) y Abdominal (par) (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

### SACO CERVICAL

El saco cervical está localizado en la región del cuello, relacionándose; dorsalmente a lo largo de los músculos de la columna vertebral, ventralmente está sobre el saco clavicular, caudalmente se extiende más allá del buche y entre los pulmones, lateralmente está en contacto con los pulmones y músculos cervicales y cranealmente parece extenderse hasta la sexta o séptima vértebra cervical (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

Formando parte del saco aéreo cervical encontramos los siguientes divertículos; divertículo vertebral, divertículo intermuscular y el divertículo subcutáneo (Baumel, 1979).

### SACO CLAVICULAR

El saco clavicular está localizado a la entrada torácica, encima de la clavícula, dentro del espacio furcular. Ventralmente está en contacto con el buche y pulmones. Caudalmente se extiende al esternón, corazón e hilio del pulmón. Lateralmente está limitado por los huesos del cinturón pectoral y costillas. El esófago, tráquea, vasos sanguíneos y nervios se sitúan entre el saco aéreo cervical y clavicular, no penetran los sacos aéreos, pero se sitúan dentro de una invaginación del saco aéreo clavicular. Los divertículos del saco aéreo clavicular se dividen en intratorácicos (cardíaco y esternal) y extratorácicos (humeral y axilar) (Akester, 1969; King, 1965; Mitchel, 1984).

### SACO TORACICO CRANEAL

Los sacos torácicos craneales no tienen divertículos y están relacionados; lateralmente, con las costillas, dorsalmente con los pulmones y la membrana broncopleurales, ventromedialmente con el corazón y caudalmente con el proventrículo. Los sacos aéreos torácicos craneales están sobrepuestos cranealmente con el saco aéreo clavicular y caudalmente con el saco aéreo torácico caudal (Blin, 1964; Mitchel, 1984).

### SACO TORACICO CAUDAL

Los sacos torácicos caudales no tienen divertículos y están pegados a la pared del cuerpo por toda su superficie lateral. Cranealmente están en contacto con los sacos aéreos torácicos craneales, medialmente con el hígado, lateralmente con costillas y caudalmente con sacos aéreos abdominales. Debido a que los sacos aéreos torácicos caudales se superponen a los sacos aéreos torácicos craneales, los sacos aéreos torácicos caudales no tienen un amplio contacto con las vísceras (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

### SACO ABDOMINAL

Cada saco abdominal tiene cuerpo y divertículo, el derecho es ligeramente más grande que el izquierdo, se unen con el pulmón por un orificio (ostium abdominal), situado debajo del arco fibroso de la membrana broncopleurálica, que está asociado al bronquio primario y al sacobronquio del lado correspondiente. El sacobronquio es un bronquio grande en forma de túnel al cual llegan muchos parabronquios y conecta finalmente con el saco aéreo abdominal (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

Los sacos abdominales se relacionan: cranealmente con el hígado, dorsalmente se adhieren a la pared del cuerpo, lateralmente a los sacos aéreos torácico caudal y a los músculos abdominales, caudalmente alcanzan la pelvis. Medialmente tienen contacto con

las vísceras y el mesenterio, tanto como con las gónadas. Están como un globo entre los intestinos (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

Se reconocen las siguientes partes de los sacos aéreos abdominales: Cuerpo principal, Divertículo perirrenal y Divertículo femoral. Este último, abandona el saco abdominal a través del borde del tubérculo preacetabular (proceso pectíneo) y entonces casi rodea al acetábulo extendiéndose al cuello del fémur (Baumel, 1979; Blin, 1964; Mitchel, 1984).

Las funciones de los sacos aéreos son:

Intervienen dentro de la ventilación pulmonar.

Actúan en la regulación térmica (sobre todo los sacos abdominales), parecen compensar la ausencia de glándulas sudoríparas cutáneas.

Constituyen una reserva de oxígeno cuando la caja torácica es "congelada" al momento del despegue, al sumergirse y en el canto. Disminuyen la densidad del cuerpo.

Juegan el papel de una caja de resonancia durante la emisión de canto.

Amortiguan los choques al momento de aterrizar o durante el amerizaje.

Aislan e inmovilizan los órganos del tórax y el abdomen durante el vuelo (Blin, 1964; Dyce, 1987).

**HISTOLOGIA**

En el sitio donde los sacos aéreos están conectados a los pulmones, la superficie interna es recubierta por un epitelio ciliado cuboidal, debajo hay una delgada lámina de fibras de colágeno y elásticas y la superficie externa es recubierta de un epitelio escamoso. Hacia la parte interna del cuerpo de los sacos el epitelio ciliado interno es reemplazado por células escamosas (Hodges, 1974; Lucas, 1961).

**FIGURA 15. VISTA VENTRAL DE LOS SACOS AEREOS.**

- a).- Saco cervical
- b).- Diverticulo vertebral
- c).- Saco clavicular
- d).- Diverticulo cardíaco
- e).- Diverticulo esternal
- f).- Diverticulo axilar
- g).- Diverticulo humeral
- h).- Pulmón
- i).- Saco torácico craneal
- j).- Saco torácico caudal
- k).- Saco abdominal

Tomada de Blin (1964).

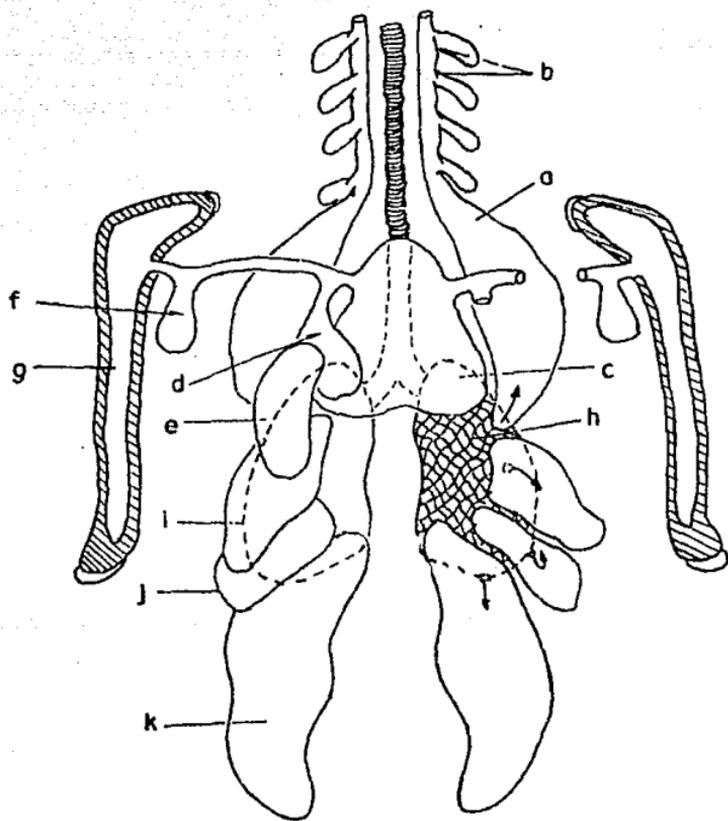


FIG. 15

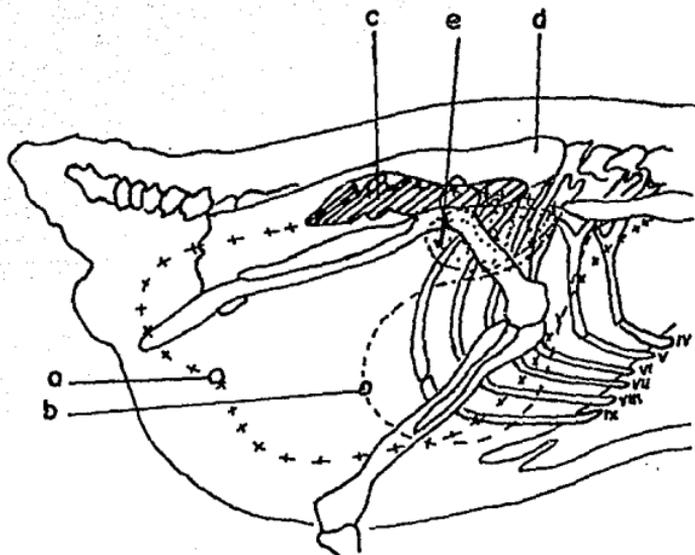


FIGURA 16. EXTENSION DE LOS SACOS AEREOS TORACICOS CAUDALES Y ABDOMINAL.

- a).- Saco abdominal
- b).- Saco torácico caudal
- c).- Riñón
- d).- Ilion
- e).- Testículo

Tomada de Blin (1964).

j. HUESOS NEUMATICOS (figura 15)

Algunos divertículos de los sacos aéreos se proyectan dentro de la cavidad medular de ciertos huesos, estos huesos se denominan huesos neumáticos, puesto que están en comunicación con el sistema respiratorio (King, 1957; Blin, 1964).

El saco cervical neumatiza las vértebras cervicales (salvo atlas y axis), las vértebras torácicas y las dos primeras costillas. El saco clavicular neumatiza al esternón, coracoides y húmero. El saco abdominal neumatiza al sinsacro y al cinturón pelviano (King, 1957; Blin, 1964).

No parece que los huesos neumáticos jueguen un papel dentro de la respiración, sin embargo, algunos investigadores reportan aves, donde la tráquea está ligada o bien con la cabeza bajo el agua, que respiran a través de un fémur o un húmero fracturado (Blin, 1964; Sturkie, 1986).

## VI. FISILOGIA DE LA RESPIRACION.

### MECANICA DE LA RESPIRACION.

a.- Fuerzas que mueven el aire a través de los pulmones.

Las fuerzas requeridas para mover el aire a través del pulmón están derivadas de la acción de los músculos respiratorios. Los músculos inspiratorios actúan para incrementar el volumen de la cavidad corporal (y por lo tanto de los sacos aéreos) y de ese modo se crea presión subatmosférica dentro de los sacos. De tal forma que el aire, penetra por la boca y ollares del ave y pasa a través de los pulmones hacia los sacos aéreos (Sturkie, 1986).

Contrariamente, los músculos espiratorios reducen el volumen de la cavidad corporal y de ese modo incrementan la presión dentro de los sacos aéreos, forzando a salir el aire desde los sacos caudales a través de los pulmones, por los ollares y boca (Sturkie, 1986).

Los sacos aéreos funcionan como fuelles, la presión y el volumen son modulados por los músculos de la respiración, con el resultado de que el aire es forzado a través del pulmón durante la inspiración y la espiración (Sturkie, 1986).

Las aves no tienen diafragma muscular, es reemplazado por una membrana broncopleurale que se inserta sobre las costillas gracias a la fascia de los músculos esqueléticos. Esta membrana asegura solamente una obliteración parcial de la cavidad pleural en relación con el abdomen, de tal manera que las cavidades torácica y abdominal son funcionalmente continuas (Sturkie, 1986).

A diferencia de lo que sucede en los mamíferos, los pulmones no se colapsan cuando penetra aire a estas cavidades (neumotórax), esto se puede constatar durante ciertos procedimientos quirúrgicos como por ejemplo la orquiectomía (Sturkie, 1986).

b.- Resistencias a la corriente de aire.

Un sistema respiratorio en el cual debe transitar un gran volumen de aire a altas velocidades demanda una mínima resistencia al paso del aire. Los patrones aerodinámicos requeridos para prevenir turbulencias son evitar formas curvas y el desarrollo de vías aéreas lo suficientemente amplias (Freeman, 1971).

1) Resistencia durante la inspiración.

En el ave la tráquea es probablemente el origen más importante de resistencia durante la inspiración. Ya que por la presencia de anillos cartilagosos completos, no puede variar su diámetro (Freeman, 1971).

La resistencia de los bronquios secundarios y parabronquios durante la inspiración, probablemente es disminuida por la expansión de los pulmones, sin embargo, esta disminución no afecta mayormente la eficiencia del sistema. Por otra parte, el incremento del área de los bronquios causada por la expansión pulmonar provoca una disminución en la proporción de aire que cruza el tejido de intercambio y de esta forma, permite un mayor intercambio (Freeman, 1971).

2) Resistencia durante la espiración.

La resistencia durante la espiración está probablemente concentrada en la siringe y en los bronquios primarios

extrapulmonares. Esto se debe al colapso de las partes delgadas de sus paredes, más particularmente de la siringe, causado por la diferencia de presión entre el saco aéreo clavicular y el lumen de estas vías aéreas. La importancia de este efecto valvular de la siringe durante la espiración es que reduce el gradiente de presión a través del pulmón. La "válvula" abrirá cuando la presión dentro del lumen de siringe y bronquios primarios se aproxime a la de los sacos aéreos (Freeman, 1971).

Esta característica anatómico-funcional busca minimizar el colapso del área de intercambio y vías aéreas pulmonares durante la espiración y, al mismo tiempo, mantener la resistencia al aire lo más bajo posible. Otra característica importante provoca el mismo efecto mediante el aislamiento parcial del pulmón de la compresión que se presenta dentro del celoma durante la espiración (Freeman, 1971).

Dicha compresión no es uniforme, ya que las partes ventrales del pulmón, las cuales no están apoyadas por las costillas, probablemente son más fácilmente comprimidas. Esto puede tener efectos importantes sobre el patrón de flujo del aire (Freeman, 1971).

c.- Patrón y dirección del aire a través del pulmón aviar.

Para obtener el máximo de intercambio gaseoso, la mayor cantidad de aire posible, debe ser expuesto al área de intercambio. Esto puede ser alcanzado por un complejo patrón de flujo a través del pulmón y sacos aéreos. Tal patrón debe estar diseñado para mantener el gradiente de difusión al área de intercambio lo más

alto posible durante el ciclo completo (Freeman, 1971).

1) Flujo del aire durante la inspiración. (figuras 17 y 18)

En el inicio de la inspiración los sacos aéreos craneales se llenan con aire que viene principalmente del espacio muerto respiratorio superior (Freeman, 1971).

La entrada rápida de este aire en los sacos craneales es consistente con sus anchas y cortas conexiones directas a la parte más craneal del bronquio primario intrapulmonar (Freeman, 1971).

Los sacos caudales se llenan con aire que sale del pulmón y con parte del aire inspirado. El resto del aire inspirado permanece en los pulmones y el espacio muerto respiratorio superior (Freeman, 1971).

La capacidad de difusión puede ser regulada por la acción del músculo liso de las vías aéreas que hace posible que el aire pase parcialmente al área de intercambio (Freeman, 1971).

El patrón de llenado de los diferentes sacos aéreos es complejo y gobernado por la resistencia de las vías aéreas que conducen a cada saco y también por la elasticidad de los tabiques entre sacos aéreos adyacentes (Freeman, 1971).

El aire no parece fluir desde el bronquio primario intrapulmonar a través de los bronquios medioventrales directamente a los sacos aéreos craneales (cervical, clavicular y torácicos craneales) durante la inspiración. El aire que alcanza los sacos aéreos craneales debe por lo tanto pasar a través de los parabronquios

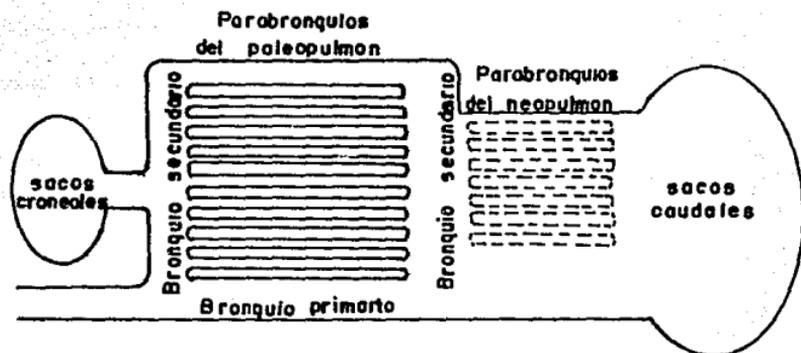


FIGURA 17. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ORGANIZACION PULMONAR DE AVE.

Por Nicolas et Brugere (1984).

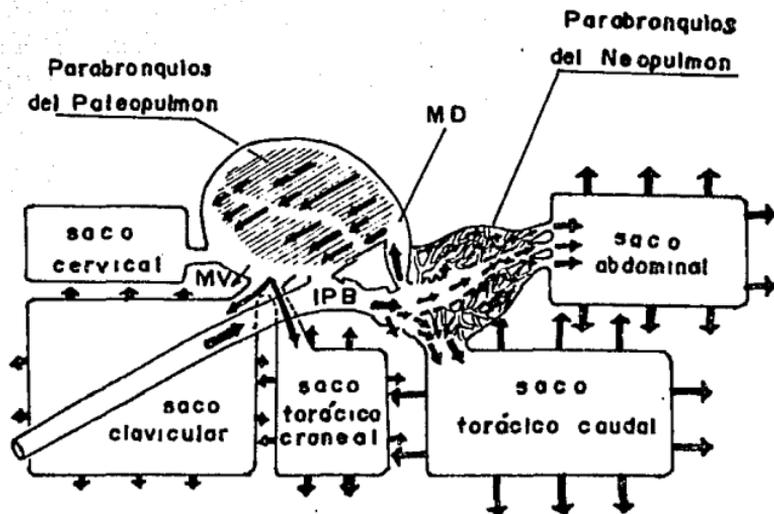


FIGURA. 18. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA RUTA DEL AIRE A TRAVES DEL PULMON AVIAR EN LA INSPIRACION.

MV).- Bronquios secundarios medioventrales

MD).- Bronquios secundarios mediodorsales

IPB).- Bronquio primario intrapulmonar

Por Duncker (1971).

del paleopulmón y sufrir el intercambio con la sangre (Sturkie, 1986).

Parte del aire que alcanza los sacos aéreos caudales durante la inspiración pasa a través de los parabronquios neopulmonares y de ese modo, es expuesto a la superficie de intercambio gaseoso; parte de él puede alcanzar los sacos aéreos pasando a través de conexiones directas y por lo tanto puede no ser expuesto a las áreas de intercambio (Sturkie, 1986).

Zeuthen (1942) concluyó que en el pollo entre el 70 y 80% del aire inspirado entra a los sacos abdominales. Dado que las conexiones indirectas de estos sacos parecen presentar una menor resistencia que sus conexiones directas, este aire es fácilmente disponible para intercambio gaseoso (Freeman, 1971).

## 2) Flujo de aire durante la espiración. (figuras 17 y 19)

El patrón de flujo a través de los pulmones durante la espiración es improbable que sea el simple inverso del patrón inspiratorio ya que existen diferentes condiciones aerodinámicas y se presenta una compresión no uniforme de las vías aéreas (Freeman, 1971).

La determinación de los papeles exactos de las vías aéreas es difícil, el punto esencial es que la mayoría del aire puede ser disponible para el intercambio durante la inspiración y la espiración (Freeman, 1971).

En la espiración, el aire pasa simultáneamente desde todos los sacos aéreos a la tráquea, pero por diferentes vías. El aire de los sacos aéreos caudales pasa a través del neopulmón en

dirección opuesta a aquella de la inspiración; parte de él; se mueve vía los bronquios mediodorsales, hacia los parabronquios paleopulmonares, y otra parte, se mueve vía los bronquios medioventrales hacia el bronquio primario intrapulmonar y finalmente sale a la tráquea. Parte del aire puede penetrar también a la tráquea sin pasar a través del paleopulmón (Sturkie, 1986).

El aire de los sacos aéreos craneales pasa directamente a través de los bronquios medioventrales hacia el bronquio primario intrapulmonar y tráquea sin hacer contacto con la superficie de intercambio (Sturkie, 1986).

El aire que penetra al neopulmón durante la mayor parte de la inspiración es similar en composición al aire atmosférico, la composición del aire que penetra a esos parabronquios durante la espiración es similar al de los sacos aéreos caudales (Sturkie, 1986).

El aire que penetra al paleopulmón durante la mayor parte de la inspiración es similar, en composición al aire atmosférico. Durante la espiración, sin embargo, el aire que penetra a esos parabronquios es una mezcla; parte ha sido expuesto a la superficie de intercambio en el neopulmón y parte viene directamente de los sacos aéreos caudales (Sturkie, 1986).

El aire del final de la espiración, es por lo tanto, una mezcla compleja de gases de los sacos aéreos craneales, parabronquios y sacos aéreos caudales. Su composición final depende de la contribución y composición relativa de cada porción. La

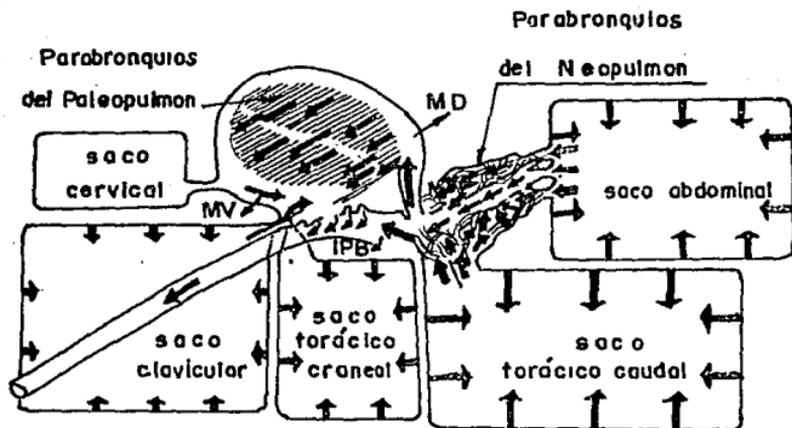


FIGURA 19. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA RUTA DEL AIRE A TRAVES DEL PULMON AVIAR EN LA ESPIRACION.

MV).- Bronquios secundarios medioventrales

MD).- Bronquios secundarios mediodorsales

IPB).- Bronquio primario intrapulmonar

Por Duncker (1971).

concentración de bióxido de carbono es marcadamente constante a través de la espiración en pollos y patos (Sturkie, 1986).

Durante la inspiración y espiración el aire se mueve unidireccionalmente desde el bronquio primario intrapulmonar a los bronquios secundarios mediodorsales y dentro de los parabronquios del paleopulmón. Sin embargo, el aire se mueve bidireccionalmente a través del neopulmón y a través de las conexiones directas, a los sacos aéreos caudales (torácico caudal y abdominal) (Sturkie, 1986).

d.- Movimiento del aire desde los parabronquios a la sangre.  
(figuras 20 y 21)

El sistema respiratorio aviar debe extraer tanto oxígeno como sea posible, por unidad de tiempo, de grandes volúmenes de aire que se encuentran moviéndose rápidamente. La cantidad de tejido de intercambio requerido dependerá de los requerimientos de oxígeno, la eficiencia del intercambio y el nivel de ventilación. El transporte de grandes cantidades de oxígeno y bióxido de carbono demanda un alto gasto cardíaco, el cual también es necesario para mover suficiente oxígeno a los tejidos cuando la presión de oxígeno en el aire inspirado es baja y el oxígeno acarreado por mililitro de sangre se ve disminuido. Bajo tales condiciones de demanda máxima la distribución y patrón de flujo de la sangre debe permitir tanto intercambio gaseoso como sea posible (Freeman, 1971).

El bajo gradiente de presión entre el parabronquio y los capilares aéreos implica que la resistencia a la difusión desde

el parabronquio es extremadamente baja y que el movimiento del aire puede ocurrir enteramente por difusión (Sturkie, 1986).

El mayor impedimento al movimiento de oxígeno entre los parabronquios y la sangre probablemente ocurre en las capas de tejido y fluido interpuestas entre el lumen de los capilares aéreos y las moléculas de hemoglobina (Sturkie, 1986).

Los capilares aéreos y sanguíneos ocupan aproximadamente el 50% del volumen total del pulmón en el pollo doméstico (Sturkie, 1986).

La barrera gas-sangre del ave es excesivamente delgada. La barrera consiste de tres componentes, las células epiteliales del capilar aéreo, una membrana basal común y las células endoteliales del capilar sanguíneo. A la membrana basal se le considera la barrera permeable. No hay evidencias de poros o fenestraciones en la cubierta endotelial (Freeman, 1971).

La surfactante pulmonar es de interés en varios aspectos de la fisiología y patología del pulmón vertebrado. Mantiene las pequeñas cavidades abiertas y limita la trasudación. También ha sido citado como un posible agente en el despacho de material extraño y como un mediador en el intercambio de gases respiratorios (Freeman, 1971).

Los datos indican que el tamaño de la superficie de intercambio por unidad de volumen del pulmón aviar es al menos 10 veces mayor que el del pulmón del hombre y puede ser aún mayor para los pequeños pájaros voladores, como el colibrí (Sturkie, 1986).

Es interesante confrontar el sentido del trayecto seguido por el

aire dentro de las vías respiratorias con los datos de la clínica (Nicolas et Brugere, 1984).

Con lo cual es de esperar, por ejemplo, que las infecciones provenientes del medio externo alcancen localizaciones primitivas en el neopulmón y en los sacos caudales, y que las infecciones provenientes de una diseminación septicémica toquen de hecho primeramente las porciones craneales, o todo, en caso de que no tengan una localización preferencial (Nicolas et Brugere, 1984).

La patología muestra que muchas de las infecciones conocidas resultan de un aporte de gérmenes desde el aire ambiental (por ejemplo Colibacilosis) y estas infecciones son acompañadas de lesiones en los sacos abdominales, con perihepatitis (Nicolas et Brugere, 1984).

La aspergilosis ofrece el ejemplo de las dos modalidades de contaminación; la forma aguda resulta de un aporte de gérmenes por el aire inspirado y se manifiesta por la aparición de una multitud de focos diseminados en el pulmón, la forma crónica sobreviene a una inmunodepresión que permite la instalación en el sistema respiratorio de gérmenes, presentes en el organismo. Ello se manifiesta con la localización en los sacos abdominales y torácicos caudales, lo cual no corresponde con los efectos teóricamente esperados (Nicolas et Brugere, 1984).

e.- Sistema de intercambio a contracorriente. (figuras 20 y 21)

El estudio de la disposición de los parabronquios indicó una disposición capilar sanguíneo parabronquio, al cual llamaron sistema de intercambio a contracorriente. En un sistema a

contracorriente, la sangre fluye efectivamente en ángulo recto a los ejes parabronquiales (Sturkie, 1986).

En un sistema de intercambio a contracorriente, la eficiencia en el intercambio de aire no está relacionada con la dirección en que fluye el aire, con respecto a la corriente sanguínea, a través de los parabronquios. El neopulmón, el cual tiene corriente de aire en ambas direcciones, puede por lo tanto servir igualmente durante la inspiración y la espiración (Sturkie, 1986).

La eficiencia de intercambio gaseoso del sistema a contracorriente en el pulmón de ave, es mayor que el sistema de intercambio uniforme del pulmón mamífero. Los pulmones de ave tienen el potencial para extraer más oxígeno de un volumen dado de aire inspirado que un pulmón mamífero (Sturkie, 1986).

#### f.- TERMOREGULACION

El sistema respiratorio desarrolla tres funciones importantes; intercambio gaseoso, termoregulación y vocalización (Freeman, 1971).

En las aves el mecanismo de termolisis es polipnea térmica o jadeo, mecanismo desarrollado también en numerosos mamíferos tales como por ejemplo, el perro (Nicolas et Brugere, 1984).

Las aves no poseen glándulas sudoríparas y la pérdida a través de la piel es insignificante (menos del 2% de la pérdida total de agua) (Freeman, 1971; Nicolas et Brugere, 1984).

El máximo enfriamiento por evaporación en el sistema respiratorio puede ser necesario bajo dos diferentes circunstancias y las

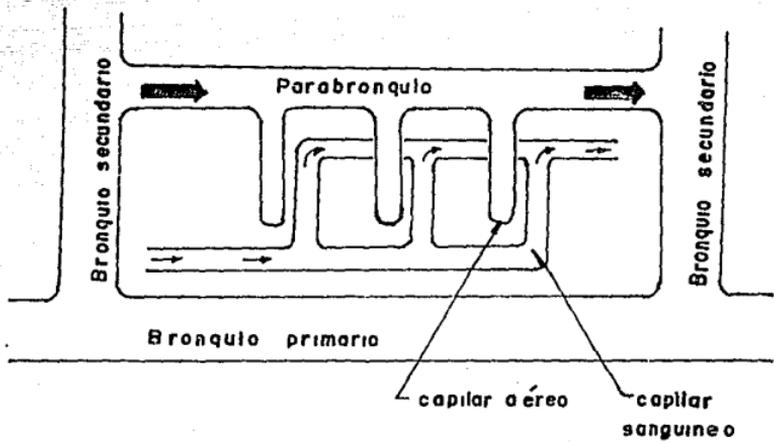


FIGURA 20. ESQUEMA DEL MECANISMO DE INTERCAMBIO GASEOSO.

Por Nicolas y Brugere (1984).

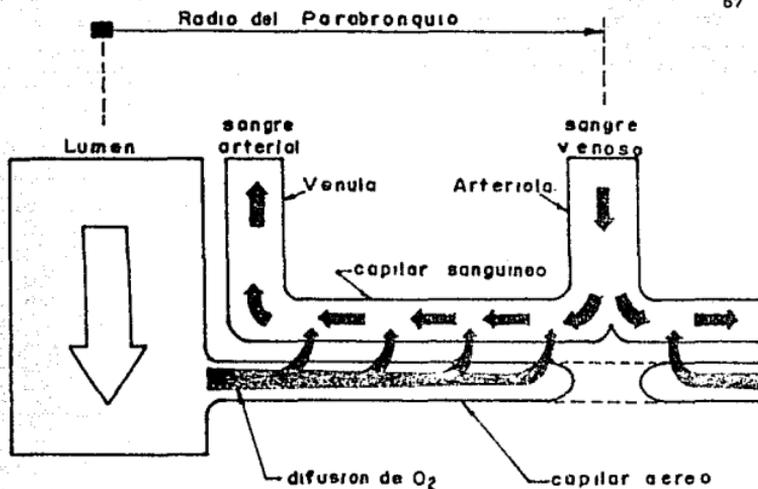


FIGURA 21. MODELO DE LA DISPOSICIÓN DE UN SOLO CAPILAR AEREO Y UN SOLO CAPILAR SANGUINEO EN EL PULMON AVIAR.

Por Piiper y Scheid (1973).

demandas sobre el sistema respiratorio son diferentes en cada caso. El primero de estos es la combinación de altas temperaturas ambientales y una alta actividad metabólica, lo cual demanda un alto nivel de disipación de calor y un alto nivel de intercambio gaseoso. El segundo es cuando altas temperaturas ambientales son combinadas con una baja actividad metabólica; esto demanda un alto nivel de disipación de calor y un nivel más bajo de intercambio gaseoso (Freeman, 1971).

El enfriamiento por evaporación puede ocurrir en todo el sistema respiratorio, lo cual será considerado en dos partes, las vías superiores y los pulmones y sacos aéreos (Freeman, 1971).

#### 1. Vías superiores.

Se incluyen la cavidad nasal, faringe y tráquea, constituyen el espacio muerto respiratorio superior y son de gran importancia en la disipación de calor. La pared de estos órganos debe ser relativamente delgada y con un fuerte flujo de sangre capaz de mantener la proporción máxima de pérdida de calor (Freeman, 1971).

#### 2. Pulmones y sacos aéreos.

La extremadamente gran superficie y el suministro masivo de sangre del tejido de intercambio provee un excelente origen de enfriamiento por evaporación, pero la hiperventilación de este tejido produce alcalosis a no ser que la tasa metabólica sea correspondientemente alta. Por lo tanto, el ave puede emplear mejor este método de eliminación de calor cuando realiza trabajo externo como volar o correr (Freeman, 1971).

Si la tasa metabólica es baja y el calor disipado en las vías superiores es insuficiente, entonces el ave debe aceptar algo de alcalosis o disminuir la capacidad de difusión de sus pulmones. Esto último, puede ser alcanzado por cambios en el tono del músculo liso de las vías aéreas, particularmente de los parabronquios, o por cambios en el tono del músculo liso de los vasos sanguíneos del tejido de intercambio. Los vasos sanguíneos que pueden actuar como anastomosis arteriovenosas pueden también ser importantes en la disipación de calor, especialmente si estas anastomosis se sitúan muy cerca de la corriente de aire. Las aves parecen regular su capacidad de difusión variando la eficiencia dependiendo de la especie (Freeman, 1971).

Aunque su relativa importancia en la termoregulación es incierta, es claro que los sacos aéreos juegan una parte significativa en la disipación de calor. Salt y Zeuthen (1960) consideraron a los sacos más craneales de particular interés en la evaporación respiratoria.

La función de los sacos aéreos craneales en la regulación de calor está probablemente relacionada con su acceso a los bronquios primarios, es tan directo que "es teóricamente posible el que ellos pueden ser activamente ventilados sin afectar el nivel de bióxido de carbono del aire en los capilares del pulmón". El uso de los sacos craneales para la regulación de calor es eficiente si la proporción del aire inspirado que penetra a estos sacos puede ser aumentada durante la respiración lo cual ocurre particularmente en el jadeo. Tal fenómeno demanda

que, durante la hiperventilación debido a tensión por calor, la resistencia a la corriente dentro de estos sacos sea relativamente más baja que la resistencia a rutas alternas por una mayor proporción del ciclo respiratorio que el normal (Freeman, 1971).

## VI. BIBLIOGRAFIA

- 1.- AKESTER, A. R.: The comparative anatomy of the respiratory pathways in the domestic fowl (Gallus domesticus), pigeon (Columba livia) and domestic duck (Anas platyrhyncha). J. A. Lond., 94: 687 (1969)
- 2.- AKESTER, A. R.: and MANN, S. P.: Ultrastructure and innervation of the tertiary-bronchial unit in the lung of Gallus domesticus. J. Anat. Lond., 105: 202-204 (1969)
- 3.- BAUMEL, J. J.: Nomina Anatomica Avium. Acad. Press. Lond., 227-263. 1979.
- 4.- BLIN, P. C.: Le système respiratoire des oiseaux. Rec. Med. Vet., 11: 877-894 (1964)
- 5.- CANTON, G., BUFFINGTON, D. et MATHER, F.: Respiratory heat and moisture transfer in mature, male broiler breeders. Am. Soc. Agric. Eng., 83: 4013 (1983)
- 6.- CAUCHY, L.: Immunologie de l'appareil respiratoire des oiseaux. Rec. Med. Vet., 11: 905-910 (1984)
- 7.- COWIE, A. F. and KING, A. S.: Further observations on the bronchial muscle of birds. J. Anat. Lond., 104: 177-178 (1969)
- 8.- DYCE, K. M., SACK, C. and WENSING, J. G.: Textbook of Veterinary Anatomy. W. B. Saunders, Philadelphia, U.S.A. 1987.
- 9.- FEDDE, M. R.: Structure and gas-flow pattern in the avian respiratory system. Poul. Sci., 12: 2642-2653 (1980)

- 10.- FLETCHER, O.: Pathology of the avian respiratory system. Poul. Sci., 59: 2666-2679 (1980)
- 11.- FREEMAN, B. M.: Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl. Academic Press. London. 1: 93-164. 1971.
- 13.- HODGES, R. O.: The Histology of the Fowl. Academic Press. London. 1974.
- 14.- HOGG, D. A.: The development of pneumatization in the posterocraneal skeleton of the domestic fowl. Act. Anat., 1: 105-113 (1984)
- 15.- KAMPEN, M.: Physiological responses of poultry to ambient temperature. Archiv. fur Exp. Vet., 38: 384-391 (1984)
- 16.- KING, A. S.: The aerated bones of Gallus domesticus. Acta Anat., 31: 220-230 (1957)
- 17.- KING, A. S. and COWIE, A. F.: The functional anatomy of the bronchial muscles of the birds. J. Anat., 105: 325-336 (1969)
- 18.- KING, A. S. and McLELLAND, J.: Outlines of Avian Anatomy. Baillere Tindall. London: 60-114. 1975.
- 19.- KING, A. S. and PAYNE, D. C.: The maximum capacities of the lungs and air sacs of Gallus domesticus. J. Anat., 96: 495-503 (1962)
- 20.- KING, A. S. and ROBERTS, M. C.: The laryngeal cartilages and muscles of Gallus domesticus. J. Anat., 99: 410-411 (1965)

- 21.- LUCAS, A. M. and DEMINGTON, E. M.: A brief report on anatomy, histology and reactivity of air sacs in the fowl. Avian Dis., 4: 460-461 (1961)
- 22.- MASHHADANI, E. and BECK, M.: Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of the lung and trachea of broiler chick. Poul. Sci., 64: 2056-2061 (1985)
- 23.- McLELLAND, J.: A Colour Atlas of Avian Anatomy. Wolfe Med. Public. Ltd., London: 90-110. 1990.
- 24.- McLELLAND, J.: The anatomy of the rings and muscles of the trachea of Gallus domesticus. J. Anat., 99: 651-656 (1965)
- 25.- McLELLAND, J. and MOORHOUSE, P. D.: Observation on the structure and function of the nasal gland of Gallus domesticus. J. Anat., 99: 411 (1965)
- 26.- McLELLAND, J. R., MOORHOUSE, P. D. and PICKERING, E.: An anatomical and histochemical study of the nasal gland of Gallus domesticus. Act. Anat., 71: 122-133 (1968)
- 27.- MITCHEL, J. R.: The number and location air sacs in broilers chickens and the implications in Escherichia coli infection. J. of the South. Afric. Vet. Assoc., 55: 57-60 (1984)
- 28.- MITCHELL, B. W. et SIEGEL, H. S.: Physiological response of chickens to heat stress measured by radio telemetry. Poul. Sci., 52: 1111-1119 (1973)

- 29.- NICOLAS, F. et BRUGERE, H.: Physiologie de la respiration des oiseaux. Rec. Med. Vet., 160: 895-903 (1984)
- 30.- RICHARDS, S. A.: Evaporative water loss in domestic fowls and its partition in relation to ambient temperature. Jour. of Agric. Sci., 87: 527-532 (1976)
- 31.- SERVICIO NACIONAL DE INFORMACION Y MERCADOS.: Sintesis Avicola. Editorial Año Dos Mil, México, D. F., 12 de enero de 1991.
- 32.- STURKIE, P. D.: Avian Physiology. Fourth Edition. Springer Verlag, New York: 191-220. 1986.