

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



“Descripción morfológica del pulmón del bovino (*Bos taurus*) criollo y de la alpaca (*Vicugna pacos*) durante el desarrollo gestacional bajo condiciones de altura.”

Tesis para optar el Título Profesional de:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Carmen Daniela Obando Villagarcía
Bachiller en Medicina Veterinaria y Zootecnia

LIMA – PERÚ
2017

Dedicado a mis padres a quienes les debo mi vida y mi formación. Gracias a su esfuerzo puedo seguir creciendo profesionalmente y como persona.
A mi Chichito, quien me inspiró a elegir esta carrera para poder salvar vidas.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su amor incondicional y su constante apoyo en todos los desafíos de mi vida.

A la doctora Galy Mendoza y al doctor Ricardo Grandez, por su guía, preocupación y dedicación en la realización de este trabajo y sobre todo por su amistad.

A la beca Fernando Porturas Plaza por el financiamiento del proyecto de investigación del cual forma parte este trabajo.

A los docentes y personal de la familia FAVEZ involucrados, por su apoyo y facilidades en la utilización de las instalaciones y material de laboratorio.

A mis amigos por su incentivo y constante deseo de verme cerrar esta etapa importante de mi vida profesional.

ABSTRACT

Alpacas and bovines are two of the most productive domestic species used by the inhabitants of the Peruvian highlands. Due to those environmental conditions, it is obvious the higher resistance of the south American camelids to the condition of low partial pressure of oxygen against cattle. The present study sought to describe and compare the anatomical characteristics of gestational lung development in both species. To do this, macroscopic and microscopic studies of 6 fetus samples per gestational third of each species were carried out. The results of the macroscopic study showed the lack of lobulations of the lungs of alpaca fetuses with the exception of the accessory lobe and the presence of lobar bronchi in both lungs. The lungs of bovine fetuses showed well marked fissures and lobulations in both lungs, in addition to evidencing the separation between pulmonary lobules both microscopically and macroscopically. Both species presented a tracheal bronchus that was directed to the cranial lobe of the right lung. The results of the microscopic study showed that the lungs of the bovine fetuses developed more rapidly than those of the alpacas. In addition, a stage of transition was found between the pseudoglandular and canalicular phase in both species, being in cattle (1st third) earlier than in alpacas (2nd third), besides the bovine fetal lungs had a greater amount of connective tissue in their stroma. It is concluded that the shape and lobulations of the lungs of both species is similar to that of the adult animal from the first gestational third and that the bovine lung development is much faster than that of the alpacas.

KEY WORDS: alpaca, bovine, lung, morfology, fetus

RESUMEN

Las alpacas y los bovinos son dos de las especies domésticas de mayor uso productivo por los habitantes en el altiplano peruano. Dadas las condiciones ambientales, es evidente la mayor resistencia de los camélidos sudamericanos a las condiciones de baja presión de oxígeno frente a los bovinos. El presente estudio buscó describir y comparar las características anatómicas del desarrollo pulmonar gestacional en ambas especies. Para ello se realizaron los estudios macroscópicos y microscópicos de 6 muestras de fetos por tercio gestacional de cada especie. Los resultados del estudio macroscópico mostraron la falta de lobulaciones de los pulmones de fetos de alpaca a excepción del lóbulo accesorio y la presencia de bronquios lobulares en ambos pulmones. Los pulmones de los fetos bovinos presentaron cisuras bien marcadas y lobulaciones en ambos pulmones, además de evidenciar la separación entre lobulillos pulmonares tanto microscópicamente como macroscópicamente. Ambas especies presentaron un bronquio traqueal que se dirigía al lóbulo craneal del pulmón derecho. Los resultados del estudio microscópico mostraron que los pulmones de los fetos bovinos se desarrollaron más rápidamente que los de las alpacas. Además, se encontró una etapa de transición entre la fase pseudoglandular y canalicular en ambas especies, siendo en bovinos (1er tercio) más temprano que en alpacas (2do tercio), además los pulmones fetales bovinos presentaban mayor cantidad de tejido conjuntivo en su estroma. Se concluye que la forma y lobulaciones de los pulmones de ambas especies es similar a la del animal adulto desde el primer tercio gestacional y que el desarrollo pulmonar bovino es mucho más rápido que el de las alpacas.

PALABRAS CLAVE: alpaca, bovino, pulmón, morfología, feto

INTRODUCCIÓN

La mayor concentración de los Camélidos Sudamericanos (CSA) se encuentra en la sierra del país (INEI, 2012), donde se utilizan como uno de los principales sustentos para las familias residentes sobre todo en las zonas más altas de los Andes, en donde la resistencia natural de estos animales a esas condiciones ambientales les da ventaja frente a otras especies de producción (Flores, 1989; Greslou, 1989; Wheeler, 1999).

Dentro de las principales variables climáticas en estas zonas se tiene la baja presión parcial de oxígeno atmosférico y la disminución de la temperatura en función a la altura. Para sobrevivir a estas condiciones, los humanos y los animales, han desarrollado mecanismos adaptativos tanto morfológicos como fisiológicos logrando resistir a múltiples variables climáticas (Heath y Williams, 1992; Raggi, 2000; Valero *et al.*, 2009). Claro ejemplo de esto son las alpacas, las cuales toleran muy bien alturas superiores a 3800 msnm. Por otro lado, la especie bovina, sobre todo los de alta producción de leche como la raza Holstein, difícilmente toleran altitudes superiores a los 3500 msnm, mientras que los Brown Swiss y el ganado criollo las toleran mejor. Se ha demostrado que bajo adecuadas condiciones de manejo, tales como el ascenso progresivo y escalonado, se pueden introducir exitosamente animales desde los llanos a la altura; pero se entiende que el proceso de adaptación a estos nuevos niveles toma tiempo (Ayon y Cueva, 1998).

El aparato respiratorio está compuesto por el área de intercambio gaseoso y por las vías de conducción aérea encargadas de conducir el aire atmosférico del exterior del cuerpo hacia los pulmones. Estos son los encargados de poner en contacto el aire atmosférico con la sangre para dar lugar al intercambio gaseoso gracias a los alvéolos (König y Liebich, 2008). Dada la estrecha correlación entre forma y función, y la importancia de la adaptación del organismo frente a las condiciones de la altura, es conveniente tener conocimiento de los aspectos morfológicos antes de abordar la fisiología y la clínica de estos órganos (Cruz y Moreno, 2008).

Durante su formación, el desarrollo de los pulmones y los bronquios se divide en periodos secuenciales: el embrionario, cuando se forma el primordio de los pulmones y los bronquios; el periodo fetal, cuando se forman los bronquios y las estructuras preliminares para el intercambio gaseoso son establecidas; y, el período postnatal, cuando los alvéolos son desarrollados completamente y los pulmones asumen su forma adulta (Hyttel *et al.*, 2010). El periodo fetal puede ser subdividido en 4 etapas: la pseudoglandular, donde la vascularización pulmonar aún no es aparente, la ramificación del árbol bronquial le da un aspecto glandular a la histología pulmonar y el desarrollo es hasta bronquiolos terminales; el periodo canalicular, que es caracterizado por la formación del primordio de las porciones de los pulmones que luego estarán relacionadas con el intercambio gaseoso, el crecimiento del lecho capilar que comienza a rodear las vías aéreas, y la formación de bronquiolos respiratorios que se ramifican y forman túbulos (canalículos); el periodo sacular, en el que se forman los espacios aéreos transitorios, los sacos aéreos terminales con paredes muy delgadas de conductos alveolares, y se encuentran cilios evidentes en el epitelio de los bronquios principales; por último, el periodo alveolar, cuando los alvéolos son formados, se da la aparición de septos secundarios y el epitelio endodérmico da lugar a los neumocitos tipo I y II (Zabala y Weinman, 1984; Hyttel *et al.*, 2010).

En los bovinos, Drozdowska *et al.* (2015) observaron que la etapa embrionaria se completa antes de los 84 días de gestación (primer tercio), la etapa pseudoglandular se completa hacía los 112 días de gestación (segundo tercio). Adicionalmente, indicaron la presencia de una etapa transicional entre la pseudoglandular y la canalicular entre los días 112 y 126 (2do tercio). La etapa canalicular se vio bien establecida entre los días 154 y 168 de gestación (2do tercio), y el inicio de la etapa sacular se dio desde los 168 días de gestación (2do tercio). En un estudio dado por Zabala y Weinman (1984) se estimó que la fase alveolar empieza al menos 6 semanas previas al parto (basado en un período de 280 a 290 días de gestación).

La morfología del pulmón en alpacas adultas presenta muy pocas diferencias con otras especies, según el estudio de Viera *et al.* (1968) se reporta ausencia de cisuras interlobulares y un lóbulo accesorio en el pulmón derecho que está presente en todas las especies. La tráquea, a la altura de la tercera costilla, da origen a un pequeño bronquio que penetra en el parénquima pulmonar, dirigiéndose al vértice del pulmón derecho y luego origina los bronquios principales (Cruz y Moreno, 2008). La morfología más parecida al pulmón de esta especie es la del equino por la ausencia de lobulaciones aparentes; sin embargo, internamente ambas especies presentan bronquios lobulares en la distribución de su arborización bronquial. El pulmón izquierdo está formado por el lóbulo craneal y caudal (apical y diafragmático); mientras que el pulmón derecho está formado por el lóbulo craneal, medio y caudal (apical, diafragmático y accesorio) (Sisson *et al.*, 1995). Por otro lado, los pulmones de los bovinos sí presentan fisuras interlobulares, pudiendo identificarse fácilmente 4 lóbulos bien definidos en el pulmón derecho: apical, medio, diafragmático y accesorio. El pulmón izquierdo se encuentra dividido por una cisura interlobar de distinta longitud en dos lóbulos: apical (porción craneal y caudal) y diafragmático. Al igual que en las alpacas, la tráquea proporciona un bronquio traqueal derecho a nivel de la tercera costilla, craneal a su bifurcación (Sisson *et al.*, 1995).

Existe poco conocimiento respecto a cómo se lleva a cabo el desarrollo diferencial pulmonar desde la etapa embrio-fetal y sus principales características en los bovinos y menos aún en alpacas. La noción de beneficio que traen consigo las adaptaciones, debe considerar implícitamente que las modificaciones que se operan en los organismos en presencia de circunstancias o entornos difíciles sirven para favorecer de alguna forma la supervivencia de los seres en cuestión. Los entornos naturales no son constantes, por lo tanto, aquellos individuos con mayores capacidades para adaptarse podrían tener ventajas selectivas en la supervivencia y la reproducción, que de ser bien aprovechadas podrían suponer una importante fuente de sustento para las familias que dependen de estos (Quispe, 2011).

El presente estudio tiene por finalidad describir las principales características morfológicas de pulmones de fetos de bovinos criollos y de alpacas, estableciendo diferencias macroscópicas y microscópicas que puedan servir de ayuda para explicar la mayor resistencia a condiciones de altura por parte de las alpacas. Esto busca dar un aporte sustancial al conocimiento anatómico ontogénico de ambas especies; así como generar mayor interés y campos de investigación sobretodo en las alpacas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se emplearon 32 fetos de alpaca y 19 fetos de bovino. Las muestras de alpaca fueron obtenidas en el Frigorífico Municipal del Departamento de Huancavelica (3676 msnm), se obtuvieron de hembras sanas con una condición corporal entre 2 y 3 (Australian Alpaca Association, 2008), llevadas para el beneficio. Las muestras de bovino fueron procedentes de hembras sanas a la inspección con condición corporal entre 2 y 3 (Edmonson *et al.*, 1989), originarias de Huancavelica (3676 msnm), Huancayo (3558 msnm) y Ayacucho, Vilcashuamán (3300 msnm), y que fueron beneficiadas en el Frigorífico Municipal del departamento de Huancavelica y el Camal SACIP Yerbateros (Lima).

El cálculo de la edad gestacional se realizó utilizando fórmulas ya establecidas para cada especie. En el caso de los bovinos, se midió la distancia coronilla-rabadilla de los nonatos con ayuda de una cinta métrica y se utilizó la aplicación de cálculo de edad gestacional de la Universidad de Wisconsin. La edad gestacional se fijó en 280 días (FAO, 1995). Se consideró el primer tercio de 0 a 93 días, el segundo tercio de 94 a 187 y el tercer tercio de 188 a 280 días. La distribución de muestras por tercio gestacional para los estudios macroscópicos y microscópicos se muestra en el Cuadro 1.

Para el caso de las alpacas, se midió el diámetro biparietal y se aplicó la ecuación establecida por Gazitúa *et al.* (2001). La edad gestacional para esta especie se fijó en 345 días siguiendo lo descrito por Huanca (2008). La selección de muestras se consideró por tercio. El primer tercio abarcó entre los 0 a 115 días, el segundo entre los 116 a 230 días y el tercer tercio entre los 231 a 345 días. La distribución de muestras por tercio gestacional utilizadas tanto para los

estudios macroscópicos como para los estudios microscópicos se muestra en el Cuadro 2. Cabe mencionar que se utilizaron fetos distintos para cada estudio, pero de edad gestacional similar.

Una vez tomadas las medidas y puestas las identificaciones de los fetos, se les infiltró formol bufferado al 10% en la cavidad torácica y se colocaron en envases con el mismo fijador en un volumen 6 veces mayor para su transporte y conservación. Pasadas entre 24 a 48 horas, se procedió a extraer los pulmones, el corazón y parte de la tráquea, que luego fueron colocados en alcohol al 50%.

Para el estudio macroscópico se analizó la posición de la tráquea y del corazón con respecto a cada pulmón; se describió la forma y número de los lóbulos y bordes pulmonares, y la distribución de los bronquios. En los casos necesarios, se utilizó un estereoscopio para tener una mejor definición de los detalles. La morfometría pulmonar de cada muestra se evaluó con ayuda de un calibre de Vernier, se tomaron las medidas: largo de la base, altura (vértice a base) y ancho de la base (Figuras 1 y 2). La terminología utilizada fue en base a la Nómina Anatómica Veterinaria (2012).

Para el estudio microscópico, se utilizó el procesamiento histológico de rutina y coloración de las láminas con H-E, siguiendo el procedimiento utilizado en el Laboratorio de Histología y Patología de la FAVEZ-UPCH (Montalvo, 2010). Luego, con ayuda de un microscopio con aumento de 5X, 10X y 40X, se procedió a clasificar las muestras histológicas tomando como referencia las fases embrionarias y fetales de evolución pulmonar por tercio gestacional descritas por Hyttel *et al.* (2010) tal como se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Distribución de muestras de fetos de bovino por tercio gestacional para el estudio microscópico y macroscópico según la medición de la longitud rabadilla-coronilla en centímetros

Tercio gestacional	Identificación para estudio microscópico	Longitud R-C¹ (cm)	Días gestacionales	Identificación para estudio macroscópico	Longitud R-C¹ (cm)	Días gestacionales
Primero	1B	14.5	79.7	1B	14.5	79.7
Primero	2B	14.9	81.1	2B	14.9	81.1
Primero	3B	15.5	83	3B	15.5	83
Primero	4B	16.2	85.3	4B	16.2	85.3
Primero	5B	18.3	92.1	5B	18.3	92.1
Primero	6B	18.6	93.1	6B	18.6	93.1
Segundo	7B	29.8	127.4	7B	29.8	127.4
Segundo	8B	37.1	148.1	8B	37.1	148.1
Segundo	9B	37.9	150.3	9B	37.9	150.3
Segundo	10B	40.2	156.5	10B	40.2	156.5
Segundo	11B	43.5	165.2	11B	43.5	165.2
Segundo	12B	46.5	172.9	12B	46.5	172.9
Tercero	13B	54.6	190.7	13B	54.6	190.7
Tercero	14B	61.3	207.7	14B	61.3	207.7
Tercero	15B	67.3	220.3	15B	67.3	220.3
Tercero	16B	72.7	230.9	16B	72.7	230.9
Tercero	17B	80.1	244.3	17B	80.1	244.3
Tercero	18B	89.2	259	18B	89.2	259

¹School of Veterinary Medicine, Wisconsin University 2015.

Cuadro 2. Distribución de muestras de fetos de alpaca por tercio gestacional para el estudio microscópico y macroscópico, según la medición de su diámetro biparietal (DBP) en centímetros

Tercio gestacional	Identificación para estudio microscópico	DBP¹ (cm)	Días gestacionales	Identificación para estudio macroscópico	DBP¹ (cm)	Días gestacionales
Primero	1A	0.96	39.97	19A	1	41.86
Primero	2A	1.7	74.92	20A	1.8	79.65
Primero	3A	2	89.09	21A	1.96	87.2
Primero	4A	2.2	98.54	22A	2	89.09
Primero	5A	2.2	98.54	23A	2.35	105.62
Primero	6A	2.5	112.71	24A	2.45	110.35
Segundo	7A	2.8	126.88	25A	2.8	126.88
Segundo	8A	3.1	141.05	26A	3.1	141.05
Segundo	9A	3.2	145.77	27A	3.3	150.5
Segundo	10A	3.8	174.11	28A	3.7	169.39
Segundo	11A	3.65	167.03	29A	3.86	176.95
Segundo	12A	3.72	170.33	30A	4.3	197.73
Tercero	13A	4.99	230.32	31A	5.1	235.51
Tercero	14A	5.43	251.1	14A	5.43	251.1
Tercero	15A	6.4	296.92	15A	6.4	296.92
Tercero	16A	6.8	315.81	16A	6.8	315.81
Tercero	17A	7.2	334.7	17A	7.2	334.7
Tercero	18A	7.6	353.6	32A	7.43	345.57

¹ Cálculo según la fórmula de Gazitúa et al., 2001: Días gestacionales = (DBP-0.11376)*47.23287

Cuadro 3. Características de las fases histológicas del desarrollo pulmonar en diferentes especies rumiantes consideradas para el estudio microscópico (adaptado de Hyttel *et al.*, 2010)

Características	Fase			
	Pseudoglandular	Canalicular	Sacular	Alveolar
Ramificación del árbol bronquial a manera de glándulas	X			
Formación de túbulos secundarios (Canalículos)		X		
Presencia de bronquiolos terminales	X	X	X	X
Presencia de bronquiolos respiratorios		X	X	X
Diferenciación completa de células			X	X
Abundante mesénquima	X			
Tejido pulmonar altamente vascularizado		X	X	X
Poca vascularización	X			
Estroma delgado				X
Presencia de la barrera gas-sangre			X	X
Presencia de sacos alveolares			X	X
Aparición de septos secundarios				X
Presencia de alvéolos				X
Cilios evidentes en bronquio principal			X	X
Aumento notorio de la densidad de células en el tejido mesenquimal		X		

RESULTADOS

Estudio Macroscópico

Descripción macroscópica de los pulmones de los fetos de bovino

A la evaluación macroscópica, la tráquea bovina dio origen a tres bronquios principales: bronquio pulmonar derecho, bronquio pulmonar izquierdo y un bronquio traqueal dirigido al lóbulo craneal del pulmón derecho (Figura 3). El bronquio pulmonar derecho se ramificó en un bronquio lobular medio y en un bronquio lobular caudal, mientras que el bronquio pulmonar izquierdo se ramificó en bronquio lobular craneal y bronquio lobular caudal.

Los pulmones mostraron una forma piramidal, no muy estable, y presentaron cisuras interlobares ubicadas en el borde ventral que los dividieron en lóbulos. La contextura no era firme, al tacto eran friables y se pudo observar claramente división interna en segmentos menores y la presencia de lobulillos. El pulmón izquierdo estuvo dividido en lóbulo craneal (porción craneal y caudal), y lóbulo caudal, mientras que el pulmón derecho se dividió en lóbulo craneal (porción craneal y caudal), lóbulo medio, lóbulo caudal y un lóbulo accesorio (Figuras 4: B3, B4 y B5). Ambos pulmones presentaron un borde ventral, dorsal y diafragmático que se observaron más redondeados en el primer tercio. A partir del segundo tercio, los bordes ventrales y diafragmáticos comenzaron a expandirse y tomar una forma más recta.

Se observó al lóbulo craneal del pulmón derecho rodeando al corazón en todos los tercios gestacionales. Con el avance gestacional se pudo apreciar que este lóbulo cubría mayor área cardíaca (Figuras 4, 5 y 6: B1). En la cara mediastínica de ambos pulmones se pudo apreciar el ingreso de los hilios pulmonares. Así mismo se pudo observar la impresión cardíaca, siendo más marcada en el pulmón derecho. En la parte dorsal de la cara mediastínica del pulmón izquierdo se

pudo observar claramente la impresión de la aorta, mientras que en la misma sección del pulmón derecho se pudo observar la impresión esofágica.

Morfometría pulmonar de fetos de bovino

Tanto el pulmón derecho como el izquierdo presentaron un mayor crecimiento entre el primer y segundo tercio gestacional, como se puede apreciar en los Gráficos 1 y 2. A partir del segundo tercio el crecimiento se hizo más lento para la altura y ancho de ambos pulmones; sin embargo, el crecimiento de la longitud pulmonar fue mayor para ambos pulmones. No se vieron diferencias en las mediciones del largo, ancho y altura entre los pulmones derechos e izquierdos con respecto al tiempo de edad gestacional.

Los valores estadísticos descriptivos de las dimensiones morfométricas de los pulmones derechos e izquierdos de las muestras de bovino se pueden observar en el Cuadro 4. No se observaron diferencias entre ambos pulmones en el primer y segundo tercio. En el tercer tercio el promedio del ancho de los pulmones derechos fueron mayores frente al de los pulmones izquierdos (61.34 mm, 47.85 mm; respectivamente). El promedio de la altura de los pulmones derechos fue mayor frente al de los pulmones izquierdos en todos los estadios gestacionales.

Descripción macroscópica de los pulmones de los fetos de alpaca

A la observación macroscópica, la tráquea presentó 3 ramificaciones iniciales: bronquio pulmonar derecho, bronquio pulmonar izquierdo y el bronquio traqueal que ingresaba al parénquima pulmonar a la altura del lóbulo craneal derecho (Figura 3). Ambos bronquios principales presentaron dos ramificaciones en bronquios lobulares. El bronquio principal izquierdo se dividió en un bronquio lobular craneal y en un bronquio lobular caudal, mientras que el bronquio principal derecho se dividió en un bronquio lobular medio y bronquio lobular caudal.

Los pulmones de los fetos de alpaca presentaron una textura lisa y una forma piramidal, con una base, altura y largo bien marcados. Externamente no se vieron cisuras ni lobulaciones aparentes como pasa en la mayoría de las especies; pero sí un lóbulo accesorio presente en la cara diafragmática del pulmón derecho. Este lóbulo presentó una forma ovalada predominante hasta el segundo tercio de gestación (Figura 4 y 5: A5). Aproximándose al término de la gestación, éste adoptó una forma más cuadrilátera con bordes más rectos (Figura 6: A5). En una vista craneal, en este mismo pulmón se observó una proyección de lo que vendría a ser el lóbulo apical envolviendo parte del corazón, y la presencia de una escotadura cardíaca.

La porción del corazón cubierta por esta proyección lobar disminuyó con el crecimiento del feto, el corazón tomó un tamaño mayor en proporción al pulmón a mayor edad gestacional, y fue desplazando el pulmón izquierdo caudalmente (Figuras 4, 5 y 6: A1). En la cara mediastinal de ambos pulmones se pudo apreciar el ingreso de los hilios pulmonares. Mientras que en el pulmón derecho se observó la impresión de la vena cava craneal y el esófago, en el pulmón izquierdo se observó la impresión de la arteria aorta torácica en todos los estadios gestacionales.

Desde la vista craneal, se observó un crecimiento gradual del corazón en comparación a los pulmones y al lóbulo craneal del pulmón derecho que fue desplazado hacia la derecha. El extremo craneal de los pulmones izquierdos no mantuvo un mismo patrón, se encontraron bordes irregulares con distintas proyecciones. En algunos pulmones se pudieron apreciar variaciones en la forma del borde craneal (Figura 3: C).

Morfometría pulmonar de fetos de alpaca

Como se puede apreciar en los Gráficos 3 y 4, en el primer tercio los pulmones tuvieron un aparente crecimiento lento y progresivo, mientras que a partir del segundo tercio se dio un crecimiento más rápido, dándose el mayor crecimiento en el tercer tercio. El largo pulmonar tanto derecho como izquierdo fue el que mayor incremento de tamaño tuvo en el tercer tercio. La altura pulmonar derecha tuvo un crecimiento aparentemente más abrupto al finalizar el tercer tercio frente a la altura pulmonar izquierda.

Los valores estadísticos descriptivos de los valores morfométricos de los pulmones derechos e izquierdos de las muestras de alpaca se pueden observar en el Cuadro 5. En el primer y segundo tercio gestacional la altura no difirió entre ambos pulmones; sin embargo, la altura de los pulmones derechos (51.77 mm) fue mayor frente a la de los pulmones izquierdos (46.19 mm) en el tercer tercio gestacional. No se observó diferencia entre el ancho de ambos pulmones en ninguno de los tercios gestacionales. El promedio del largo de los pulmones izquierdos fue mayor frente al de los pulmones derechos en todos los estadios gestacionales.

Estudio Microscópico

Descripción microscópica de los pulmones de bovinos

La mayoría de las muestras de los pulmones de los fetos de bovino de primer tercio se encontraba en la fase canalicular (83%), sólo la muestra más temprana (79 días de gestación) presentó características típicas de la fase pseudoglandular (Cuadro 6). En esta muestra se observaron células columnares pseudoestratificadas sobre una membrana basal continua, poca vascularización y la presencia de algunos canaliculos (Figura 7: B, D y F). También se observó la presencia de un epitelio columnar y cúbico desde esta etapa evidenciando el inicio de la transición a la fase canalicular. Esta transición también fue vista en las muestras de 83 y 85 días de edad gestacional, donde se observó un aspecto glandular característico, además de la presencia de un epitelio pseudoestratificado columnar en algunos canaliculos. Sin embargo, el epitelio columnar y cuboidal fue el predominante, además de observarse bronquiolos respiratorios característicos de la fase canalicular, un estroma más delgado y una mayor vascularización. Desde el día 92 (primer tercio) hasta el día 132 (segundo tercio), se evidenció una fase canalicular completa.

En el 83% de las muestras del segundo tercio y el 67% de las del tercer tercio (hasta el día 230) se observaron sacos aéreos terminales y espacios aéreos transitorios, evidenciando la fase sacular (Figura 8: B, D y F; Cuadro 6). En las muestras de tercer tercio mayores a 230 días de tiempo gestacional, se observó una gran presencia de alveolos y el adelgazamiento del epitelio, evidenciando la etapa alveolar (Figura 9: B, D y F; Cuadro 6). En todos los tercios gestacionales se pudo apreciar tabiques de tejido conjuntivo bien marcados separando al órgano en lobulillos (Figura 7, 8 y 9: B, D y F).

Descripción microscópica de los pulmones de alpacas

Como se muestra en el Cuadro 6, en todas las muestras de los pulmones de fetos de alpaca de primer tercio se evidenciaron las características de la fase pseudoglandular, ya que la distribución y morfología de los bronquiolos otorgaban un aspecto histológico glandular a la muestra. Se observó muy poca vascularización, la presencia de bronquiolos terminales, un epitelio columnar pseudoestratificado y la presencia de un estroma delgado de tejido conjuntivo rodeando al parénquima. Desde las muestras de 98 días de edad gestacional se pudo observar la transformación periódica a un epitelio columnar y cúbico (Figura 7: A, C y E).

En el caso de las muestras de segundo tercio, todas mantuvieron la presencia de un estroma de tejido conjuntivo y mostraron características de la fase canalicular (Cuadro 6). Se observó el alargamiento del calibre de las vías aéreas a manera de canaliculos y la presencia de bronquiolos respiratorios. Se reconoció un epitelio cuboidal y una mayor vascularización desde la muestra de menor edad gestacional perteneciente a este tercio, es decir desde el día 141 de edad gestacional, hasta la muestra de mayor edad gestacional del tercio, 170 días de edad gestacional (Figura 8: A, C y E).

Estas características predominaron hasta el día 251 de edad gestacional (tercer tercio). Desde el día 296, se observó la formación de sacos alveolares que predominaron hasta el día gestacional 334, evidenciando la etapa sacular en el 50% de las muestras del último tercio (Cuadro 6). Por último, se evidenció la presencia de alveolos en gran proporción en la muestra de mayor edad gestacional (353 días), siendo catalogada como etapa alveolar (Figura 9: A, C y E).

Cuadro 4. Valores estadísticos descriptivos de los parámetros morfométricos en centímetros (promedio, DS, valores extremos) de los pulmones de fetos bovinos derecho e izquierdo en relación a los tercios gestacionales

Tercio gestacional	Pulmones	Parámetros	Promedio (cm)	DS (cm)	Valores extremos (cm)	
					Mínimo	Máximo
Primero	Derecho	Largo	41.14	10.98	31.45	57.76
		Altura	31.90	12.59	18.41	47.28
		Ancho	17.73	4.82	11.82	23.97
	Izquierdo	Largo	41.57	14.08	28.92	63.05
		Altura	31.38	8.31	19.73	41.01
		Ancho	16.21	5.30	11.82	25.05
Segundo	Derecho	Largo	116.51	21.43	75.57	135.86
		Altura	74.50	9.83	54.84	81.81
		Ancho	43.33	7.90	29.92	53.05
	Izquierdo	Largo	114.81	23.96	72.3	140.4
		Altura	66.48	8.20	49.93	71.91
		Ancho	39.37	6.29	28.69	45.31
Tercero	Derecho	Largo	152.17	8.57	139	162
		Altura	86.48	5.53	80	95
		Ancho	61.34	6.00	51.08	68.25
	Izquierdo	Largo	153.50	7.74	145	165
		Altura	80.36	7.31	74	94
		Ancho	47.85	5.35	41.58	56.37

DS=Desviación estándar

Cuadro 5. Valores estadísticos descriptivos de los parámetros morfométricos en centímetros (promedio, DS, valores extremos) de los pulmones de alpaca derechos e izquierdos en relación a los tercios gestacionales.

Tercio gestacional	Pulmones	Parámetro	Promedio	DS	Valores extremos	
					Mínimo	Máximo
Primero	Derecho	Largo	16.93	5.58	6.71	22.1
		Altura	14.92	4.14	7.64	19.52
		Ancho	7.44	2.84	3.11	10.75
	Izquierdo	Largo	17.56	5.55	7.24	22.4
		Altura	15.37	4.59	6.84	19.18
		Ancho	8.06	2.51	3.93	10.76
Segundo	Derecho	Largo	33.34	7.11	23.94	42.33
		Altura	29.88	7.30	19.73	38.11
		Ancho	13.98	2.56	10.45	17.51
	Izquierdo	Largo	33.93	7.46	23.59	43.02
		Altura	29.91	7.23	19.65	38.61
		Ancho	14.71	2.20	11.36	17.65
Tercero	Derecho	Largo	73.18	15.32	53.92	90.73
		Altura	51.77	12.03	42.87	71.73
		Ancho	27.82	4.99	21.41	35.96
	Izquierdo	Largo	74.01	16.99	52.9	95.88
		Altura	46.19	6.84	41.3	59.46
		Ancho	28.03	5.51	22.29	35.29

DS=Desviación estándar

Cuadro 6. Distribución de las muestras de pulmones de fetos de bovino y alpaca para estudio histológico según fases histológicas por tercio gestacional, número y porcentaje, considerando 6 muestras por tercio por especie

Tercio	Fase	Bovinos		Alpacas	
		n	%	n	%
Primero	Pseudoglandular	1	17	6	100
	Canalicular	5	83	0	0
Segundo	Canalicular	1	17	6	100
	Sacular	5	83	0	0
Tercero	Canalicular	0	0	2	33
	Sacular	4	67	3	50
	Alveolar	2	33	1	17

DISCUSIÓN

En este trabajo se realizó el estudio macroscópico y microscópico de pulmones de fetos de dos especies domésticas, alpacas y bovinos a lo largo de la gestación. Dado que las muestras para el estudio provinieron de ambientes mayores a los 3000 msnm y que se sabe que los camélidos sudamericanos presentan mayor resistencia a la altura tal como lo mencionan Ayon y Cueva (1998), se esperó encontrar diferencias en la morfología e histología del desarrollo pulmonar. Sin embargo, no se encontraron diferencias resaltantes en la anatomía e histología entre ambas especies.

En relación al estudio macroscópico de los pulmones, en bovinos se pudieron identificar cisuras que los dividían en lóbulos bien definidos mientras que las alpacas no presentaron lobulaciones externas a excepción de un lóbulo accesorio en el pulmón derecho, lo cual concuerda con lo descrito por Sisson et al. (1995) y König y Liebich (2008) para bovinos y Viera *et al.* (1986) para alpacas.

La mayor friabilidad de los pulmones bovinos frente a los pulmones de alpaca pudo deberse a la mayor cantidad de tejido conectivo presente en el estroma pulmonar bovino. Este tejido se vio reflejado macroscópicamente separando el parénquima pulmonar en lobulillos, mientras que en la microscopía se pudo observar abundante cantidad de tejido conectivo en el estroma pulmonar separando el parénquima en segmentos independientes lo cual coincide con lo explicado por Gloobe (1989), quien señaló que los segmentos pulmonares de los bovinos son independientes entre sí gracias a la gran cantidad de tejido conectivo separando el parénquima.

En relación a los bronquios, ambas especies presentaron bronquios lobulares y un bronquio traqueal, que se dirigía al lóbulo craneal derecho en el caso de los bovinos, tal como lo mencionan

Gonzales y Rojo (2010), y al vértice del pulmón derecho en el caso de las alpacas (Cruz y Moreno, 2008).

Al analizar la morfología pulmonar, en el caso de ambas especies el pulmón derecho tuvo un mayor tamaño frente al pulmón izquierdo ya que este último alojó mayor área cardiaca con el avance gestacional. En los bovinos se hizo más notoria esta diferencia por la mayor cantidad de lobulaciones del pulmón derecho frente al izquierdo; si bien en ambas especies el pulmón izquierdo fue el de mayor longitud promedio, el pulmón que abarcó mayor área torácica fue el derecho, coincidiendo con lo descrito por Sayed *et al.* (1998), quienes hicieron un estudio de la morfometría de un dromedario y encontraron que el pulmón derecho tenía mayor volumen y mayor peso que el pulmón izquierdo en todos los estadíos gestacionales.

Al analizar los datos estadísticos de la morfometría pulmonar, las mediciones morfométricas y la edad gestacional tuvieron una relación directamente proporcional. Sin embargo, indistintamente de la especie, se encontraron pulmones de edades gestacionales más tempranas con mayores dimensiones, ya sea en el largo, ancho y/o altura, frente a pulmones de mayor edad; además, los bordes y lóbulos pulmonares no mantuvieron una forma fija por especie. Este fenómeno pudo deberse a que las muestras provinieron de distintas madres con alimentación, crianza y/o grado de hibridación diferentes como lo descrito por Bavera (2004) en bovinos y Cid (2010) en alpacas. Para el caso de las alpacas solo se pudo verificar su apariencia fenotípica mas no genotípica, no pudiendo aseverarse que fueran animales genotípicamente puros.

Al comparar microscópicamente el desarrollo pulmonar entre ambas especies, se halló que el de los ejemplares bovinos fue más rápido y progresivo que el de las alpacas. Además, se hallaron muestras que podían ser ubicadas en una fase intermedia entre la fase pseudoglandular y la canalicular, ya que compartían características propias de ambas fases. Dichas muestras conservaban

un aspecto histológico glandular, así como también la poca vascularización y la ausencia de bronquiolos respiratorios característicos de la fase pseudoglandular; sin embargo, se pudo distinguir el alargamiento de los túbulos a manera de canalículos, el afinamiento del epitelio y el aumento de células en el tejido mesenquimal como sucede en la fase canalicular.

Este fenómeno también fue descrito por Drozdowska *et al* (2015) quienes procesaron pulmones de fetos de bovinos utilizando el mismo método de este estudio, y atribuyeron esas características a la presencia de fases transicionales histológicas en el desarrollo pulmonar. Ellos encontraron pulmones en transición entre las fases pseudoglandular y canalicular en pulmones de segundo tercio, mientras que en este estudio se vio esta fase transicional en muestras de primer tercio, evidenciando un desarrollo más rápido.

En el caso de las alpacas se pudieron apreciar estas características en muestras de segundo tercio evidenciando un desarrollo pulmonar más lento. Pese a que las muestras tomadas para este estudio fueron de dos áreas definidas por pulmón, pudo darse variación en la fase histológica por el desarrollo pulmonar centrífugo que se da en etapas tempranas como lo señalan Zabala y Weinman (1984).

Se evidenció el inicio de la fase alveolar desde el tercer tercio en ambas especies, sin embargo, esta fase se hizo presente en una edad más temprana en bovinos (50 días antes del parto) a comparación de las alpacas (a término). Esto se asemeja a lo descrito por Drozdowska *et al* (2015) quienes encontraron muestras de 224 días de edad gestacional en fase alveolar utilizando la misma técnica de este estudio. Esta fase alveolar también fue asociada con la reducción abrupta de la proliferación celular. Por otro lado, Zabala y Weinman (1984) establecieron que la fase alveolar en bovinos empezó alrededor del día 240 de gestación, 6 semanas previas al parto, utilizando técnicas de tinción con H-E y microscopía electrónica. Esto sugiere que, en el caso de los bovinos, los

pulmones están desarrollados tiempo antes del parto, mientras que en las alpacas su desarrollo total se da a término.

CONCLUSIONES

1. Los pulmones de los fetos de ambas especies presentaron bronquiolos lobulares y la presencia de un bronquio traqueal.
2. Los pulmones de los fetos de alpaca no presentaron cisuras ni lobulaciones a excepción del lóbulo accesorio presente en todas las especies domésticas.
3. Los pulmones de los fetos bovinos presentaron una división lobulillar evidente lo cual no fue visto en alpacas.
4. Ambas especies presentaron estadios transicionales histológicos entre las etapas pseudoglandular y canalicular.
5. Los pulmones de los fetos bovinos presentaron mayor cantidad de tejido conectivo en su estroma.
6. Histológicamente el desarrollo pulmonar bovino fue mucho más rápido que el de alpacas.

LITERATURA CITADA

1. Ayon M, Cueva S. 1998. Adaptación del ganado bovino a la altura. Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM, Perú. Pub. Tec. FMV N° 38.
2. Bavera, G. A. 2000. Curso de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC.
3. Cid M. 2010. Sanidad de Alpacas en la etapa neonatal: Manual para estudiantes y profesionales de veterinaria. Primera Edición. Editorial Complutense.
4. Cruz E, Moreno R. 2008. Aparato Respiratorio: Fisiología y clínica. P. Universidad Católica de Chile Escuela de Medicina [internet]. [Acceso el 18 de agosto del 2014] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/95949768/E-Cruz-y-R-Moreno-Aparato-respiratorio-Fisiologia-y-clinica-5ta-ed>
5. Drozdowska J, Cousens C, Finlayson J, Collie D†, Dagleish M.P. 2015. Structural Development, Cellular Differentiation and Proliferation of the Respiratory Epithelium in the Bovine Fetal Lung. J. Comp. Path. 2015, Vol. 154:42-45.
6. FAO. 1995. Manual para el personal auxiliar de sanidad animal primaria. Lección 18: Preñez. Roma, Italia.
7. Gazitúa FJ, Corradini P, Ferrando G, et al. 2001. Prediction of gestational age by ultrasonic fetometry in llamas (*Lama glama*) and alpacas (*Lama pacos*). Animal Reproduction Science 66:81-92.

8. Gloobe H. 1989. Anatomía aplicada del bovino. 1ra Edición. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 71-74p.
9. Gonzales E, Rojo C. 2010. Anatomía Veterinaria. Estudio de la tráquea y del pulmón. Morfología y lobulaciones pulmonares. Reduca (Recursos Educativos) Serie Veterinaria. 2 (1): 21-28.
10. Greslou F. 1989. Vigorización de la ganadería y cultura andinas. Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas. Crianza de llamas y alpacas en los Andes. Puno, Perú. PRATEC 13: 14 – 134.
11. Heath D, Williams D. 1992. Pulmonary vascular remodelling at high altitude. J Wilderness Med 3: 151-161.
12. Huanca T. 2008. Efecto de la administración de gonadotropinas exógenas (FSH y eCG en la respuesta ovárica y la producción de embriones en alpacas (*Vicugna pacos*). Tesis de doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.
13. Hyttel P, Sinowatz F, Vejlsted M, Betteridge K. 2010. Essentials of Domestic Animal Embryology. USA. Saunders Elsevier 14: 231 – 233.
14. INEI. 2012. Resultados Definitivos. Perú. IV Censo Nacional Agropecuario.
15. Konig H, Liebich H. 2008. Anatomía de los animales domésticos. 2da Edición. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana. Tomo 2. Capítulo 8: Aparato respiratorio.

16. Montalvo CE. 2010. Técnica Histológica. Scrib. 12 p. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/151683125/TECNICAS-HISTOLOGICAS>.
17. Quispe E. 2011. Adaptaciones hematológicas de los camélidos sudamericanos que viven en zonas de elevadas altitudes. RCCV 5(1):01-26.
18. Sisson S, Grossman J.D., Getty R. 1995. Anatomía de los animales domésticos. Masson.
19. Raggi L. 2000. El Altiplano chileno: Guía para el turismo de aventura y turismo científico. S.E. Centro Internacional de Estudios Andinos, Universidad de Chile. 20 p.
20. Sayed R, Atoji Y, Kamel G, Moneim M, Yamamoto Y, Suzuki Y. 1998. Pulmonary development in the fetal one-humped camel: morphometry. Ann Anat 180: 573–585.
21. Valero W, Hanco I, Coronel M, Dueñas J. 2009. Características del período de adaptación del recién nacido en la altura. Acta Med Per 26(3).
22. Viera F, Sato A, Nuñez Q. 1968. Los pulmones y la arborización bronquial en la alpaca (Lama pacos). Revista de Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú, 22: 54-60.
23. Zabala L y Weinman D. 1984. Prenatal Development of the Bovine Lung. Vet. Med. C. Anat. Histol. Embryol. 13:1-14.

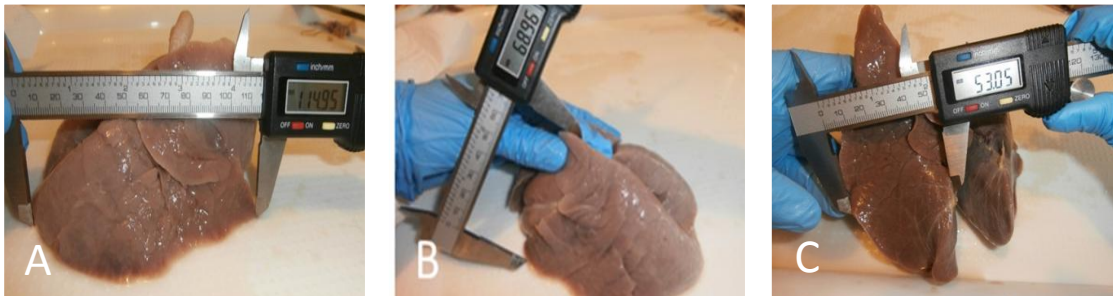


Figura 1. Imágenes fotográficas de la medición del largo (A), altura (B) y base (C) de los pulmones de bovino para estudio morfométrico con ayuda de un calibre de Vernier.



Figura 2. Imágenes fotográficas de la medición del largo (A), altura (B) y base (C) de los pulmones de alpaca para estudio morfométrico con ayuda de un calibre de Vernier.

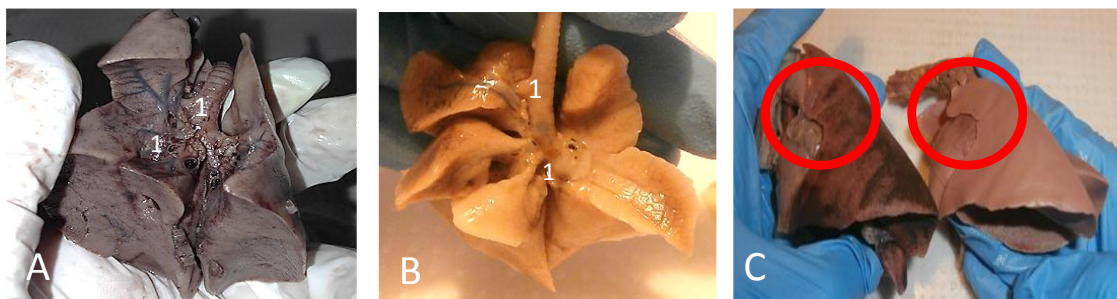


Figura 3. Vista craneal de pulmones de segundo tercio de fetos de bovino (B) y de alpaca (A) donde se puede apreciar el bronquio traqueal (1). C: Vista lateral de pulmones izquierdos de fetos de alpacas de 2do tercio mostrando diferencias en el borde craneal.

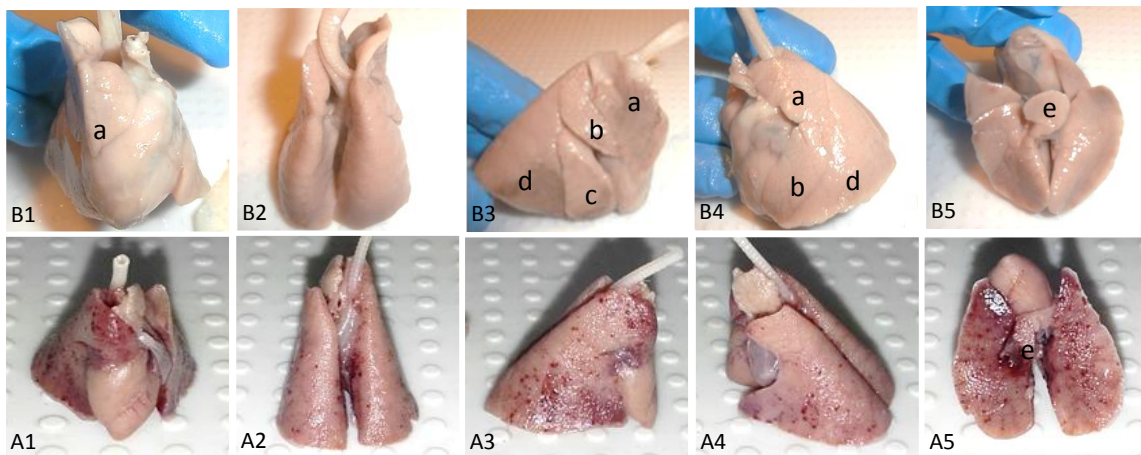


Figura 4. Vistas de pulmones de fetos de primer tercio. A1: Vista craneal alpaca, A2: Vista dorsal alpaca, A3: Vista lateral derecha alpaca, A4: Vista lateral izquierda alpaca, A5: Vista diafragmática alpaca, B1: Vista craneal bovino, B2: Vista dorsal bovino, B3: Vista lateral derecha bovino, B4: Vista lateral izquierda bovino, A5: Vista diafragmática bovino. a: porción craneal del lóbulo craneal, b: porción caudal del lóbulo craneal, c: lóbulo medio, d: lóbulo caudal, e: lóbulo accesorio.

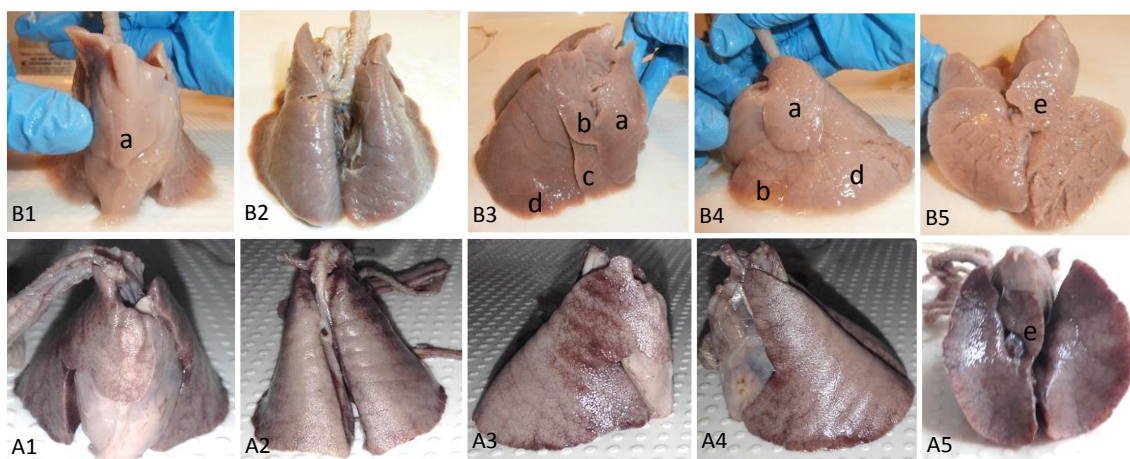


Figura 5. Vistas de pulmones de fetos de segundo tercio. A1: Vista craneal alpaca, A2: Vista dorsal alpaca, A3: Vista lateral derecha alpaca, A4: Vista lateral izquierda alpaca, A5: Vista diafragmática alpaca, B1: Vista craneal bovino, B2: Vista dorsal bovino, B3: Vista lateral derecha bovino, B4: Vista lateral izquierda bovino, A5: Vista diafragmática bovino. a: porción craneal del lóbulo craneal, b: porción caudal del lóbulo craneal, c: lóbulo medio, d: lóbulo caudal, e: lóbulo accesorio.

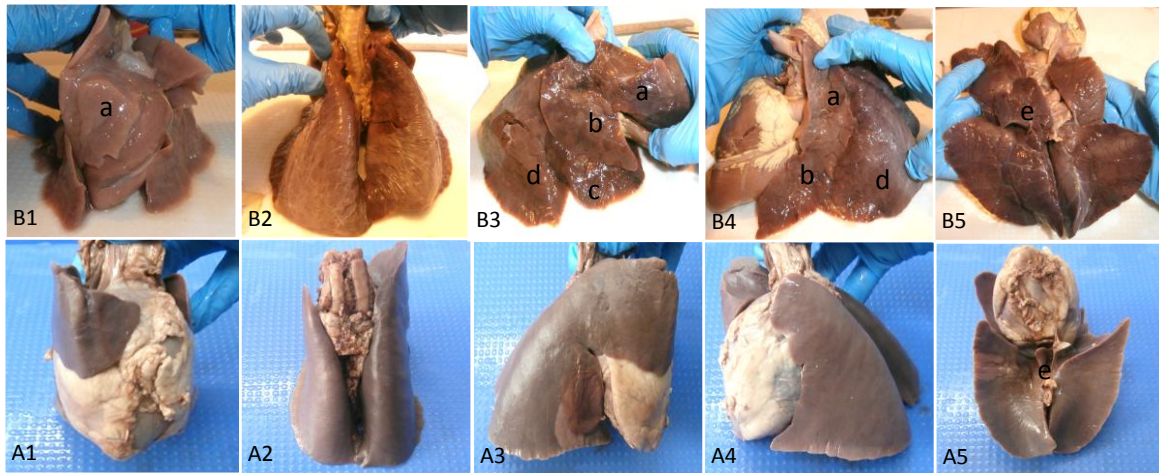


Figura 6. Vistas de pulmones de fetos de tercer tercio. A1: Vista craneal alpaca, A2: Vista dorsal alpaca, A3: Vista lateral derecha alpaca, A4: Vista lateral izquierda alpaca, A5: Vista diafragmática alpaca, B1: Vista craneal bovino, B2: Vista dorsal bovino, B3: Vista lateral derecha bovino, B4: Vista lateral izquierda bovino, A5: Vista diafragmática bovino. a: porción craneal del lóbulo craneal, b: porción caudal del lóbulo craneal, c: lóbulo medio, d: lóbulo caudal, e: lóbulo accesorio.

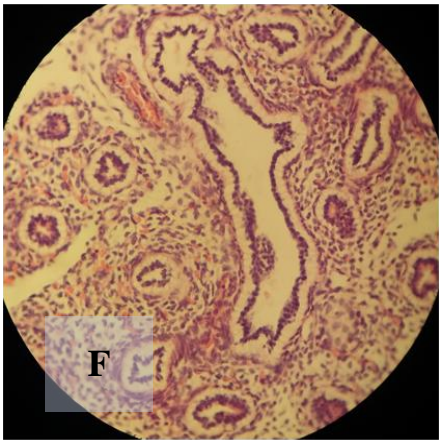
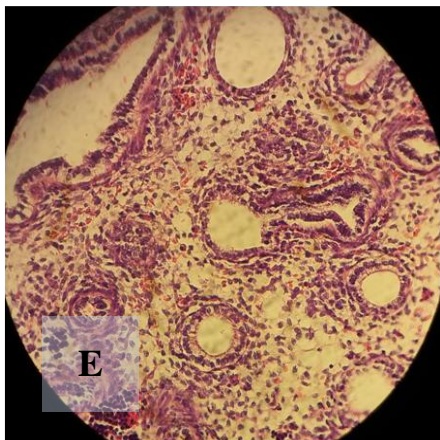
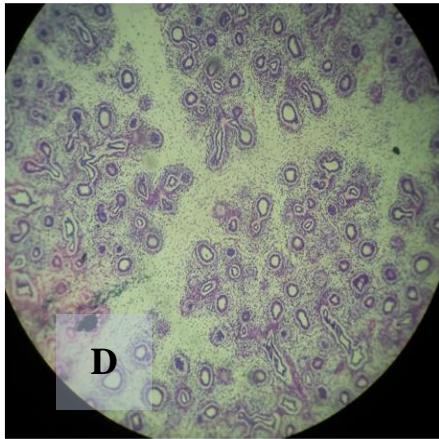
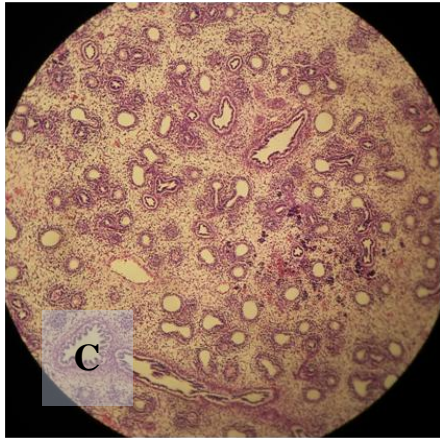
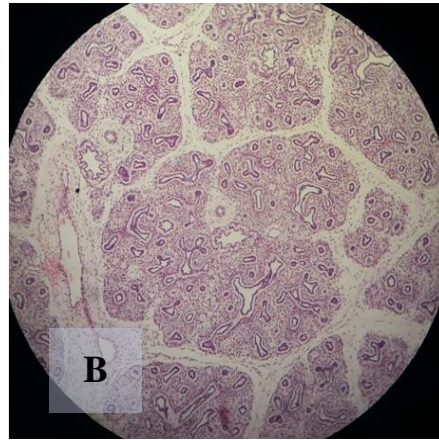
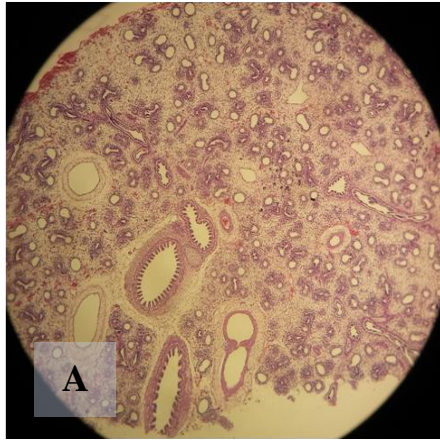


Figura 7. Cortes histológicos de las muestras de pulmón de alpaca (A, C, E) y de bovino (B, D, F) de primer tercio. A y B (5X), C y D (10X), E y F (40X).

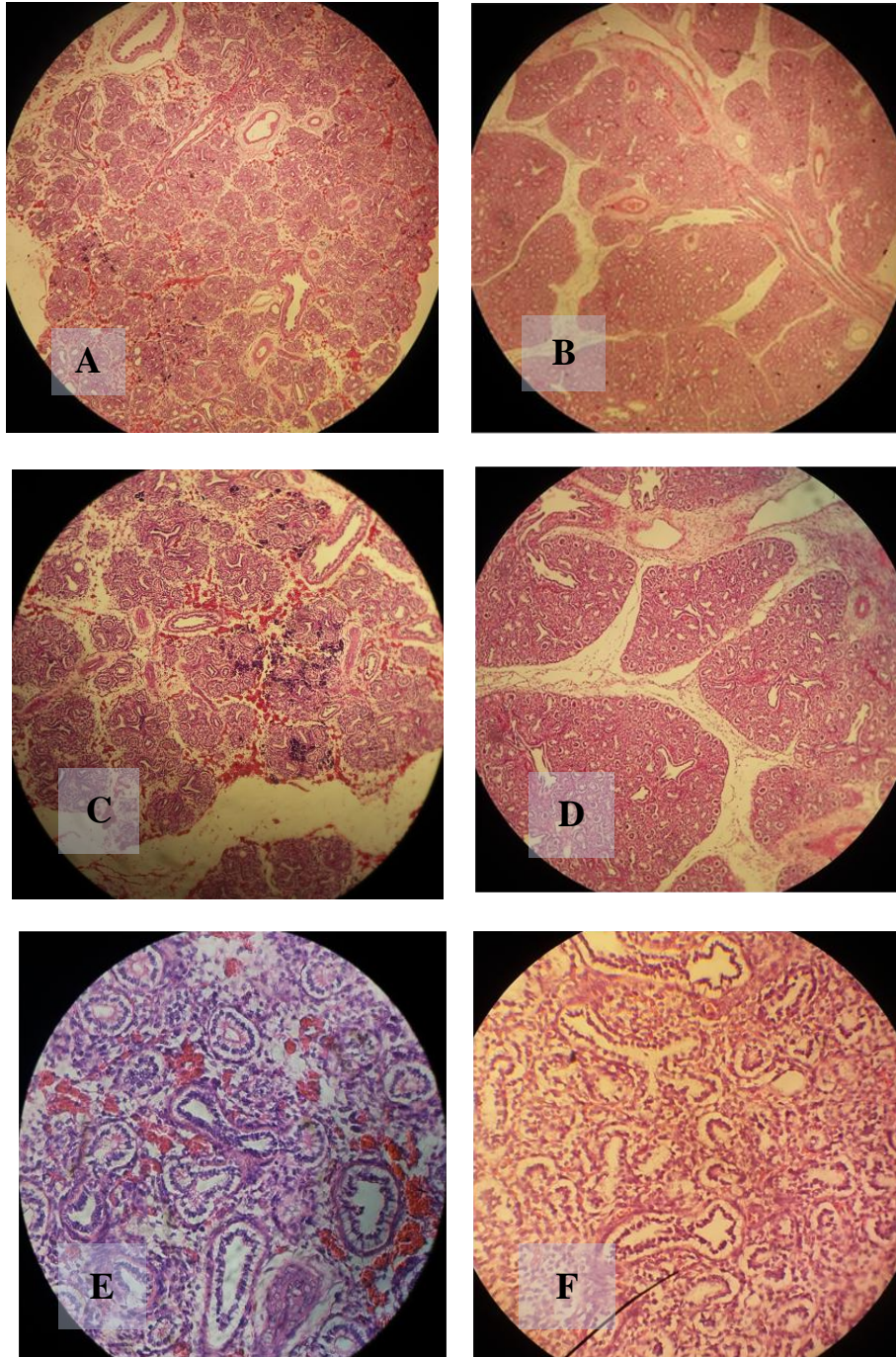


Figura 8. Cortes histológicos de las muestras de pulmón de alpaca (A, C, E) y de bovino (B, D, F) de segundo tercio. A y B (5X), C y D (10X), E y F (40X).

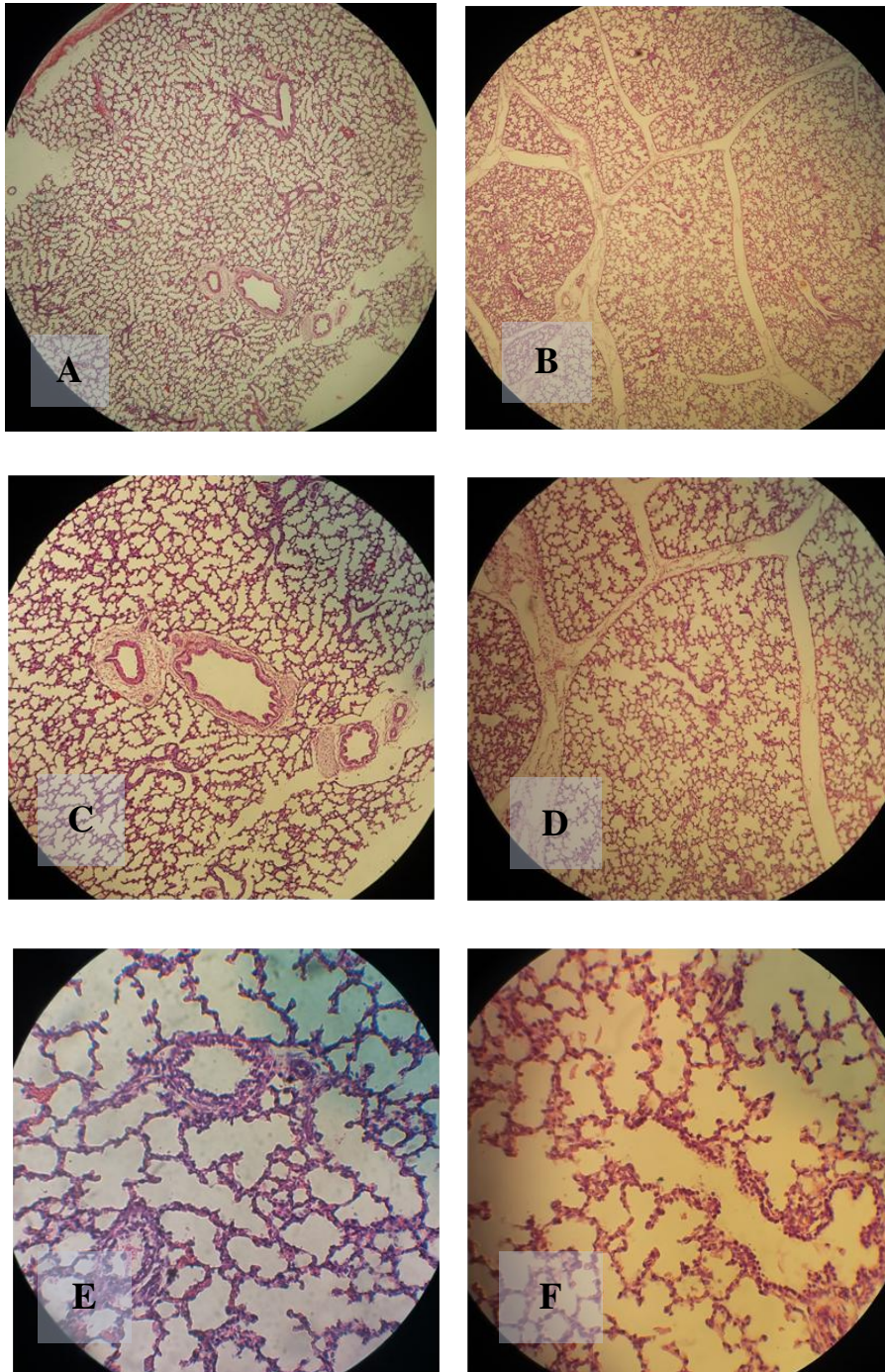


Figura 9. Cortes histológicos de las muestras de pulmón de alpaca (A, C, E) y de bovino (B, D, F) de tercer tercio. A y B (5X), C y D (10X), E y F (40X).

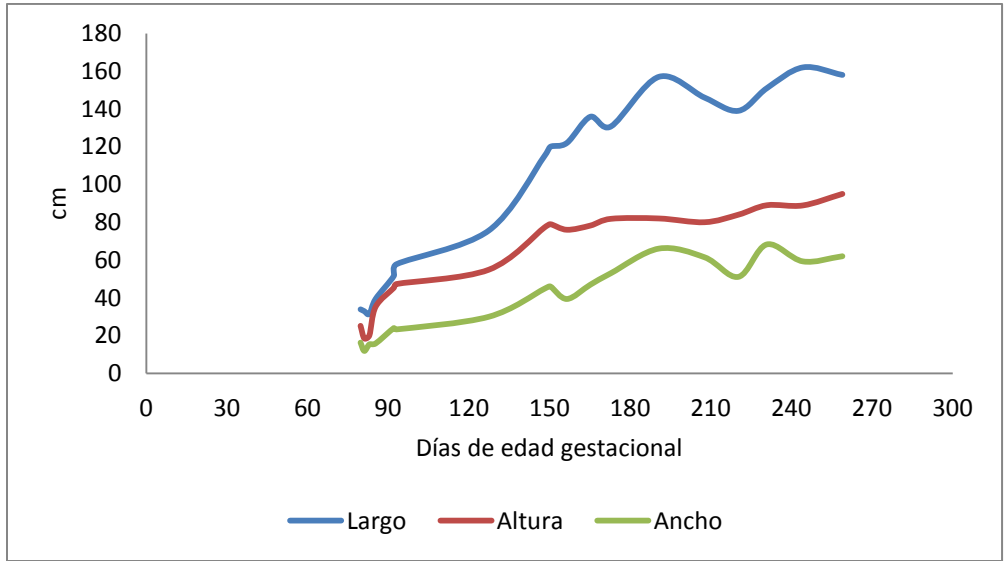


Gráfico 1. Distribución de las medidas del largo de base, ancho de base y altura de los pulmones derechos de fetos bovinos por edad gestacional.

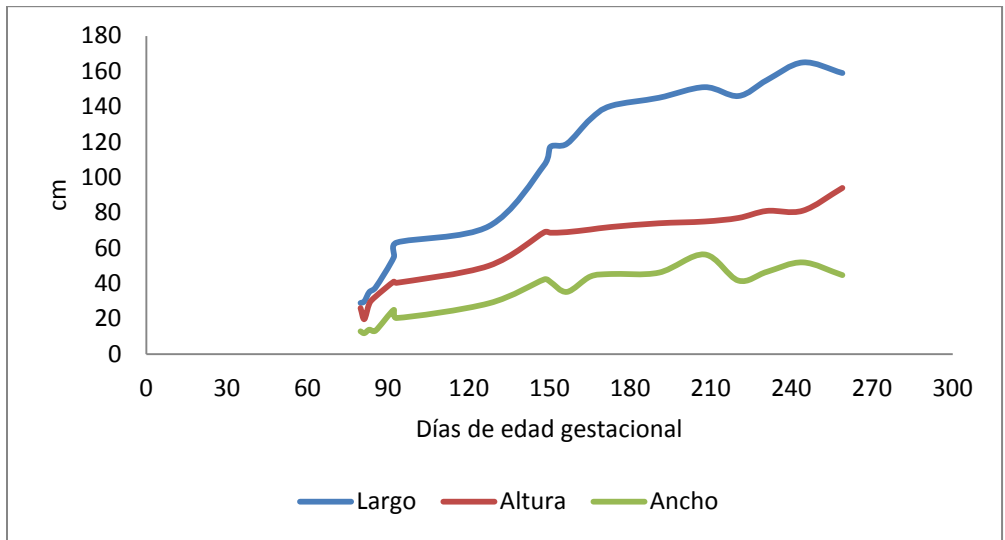


Gráfico 2. Distribución de las medidas del largo de base, ancho de base y altura de los pulmones izquierdos de fetos bovinos por edad gestacional.

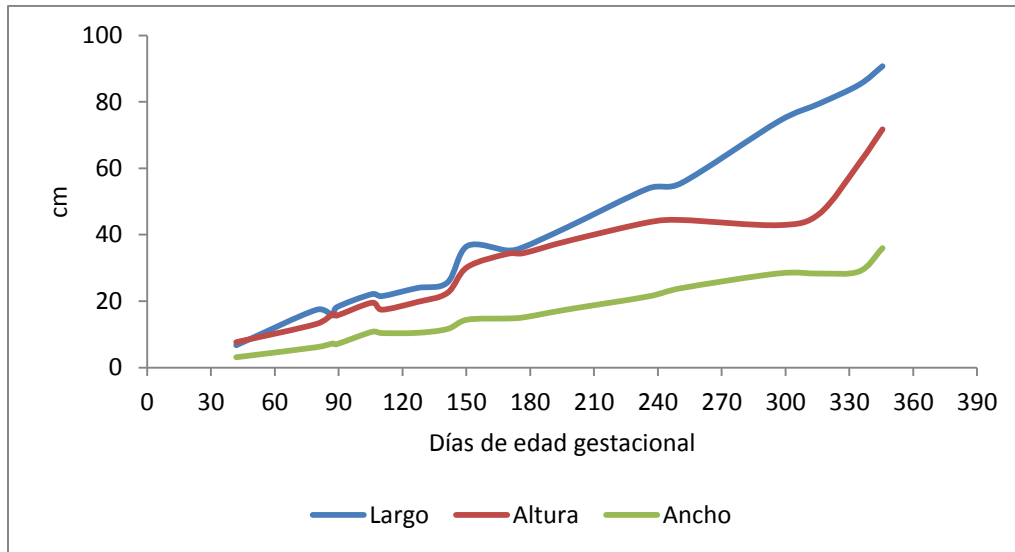


Gráfico 3. Distribución de las medidas del largo de base, ancho de base y altura de los pulmones derechos de fetos de alpaca por edad gestacional.

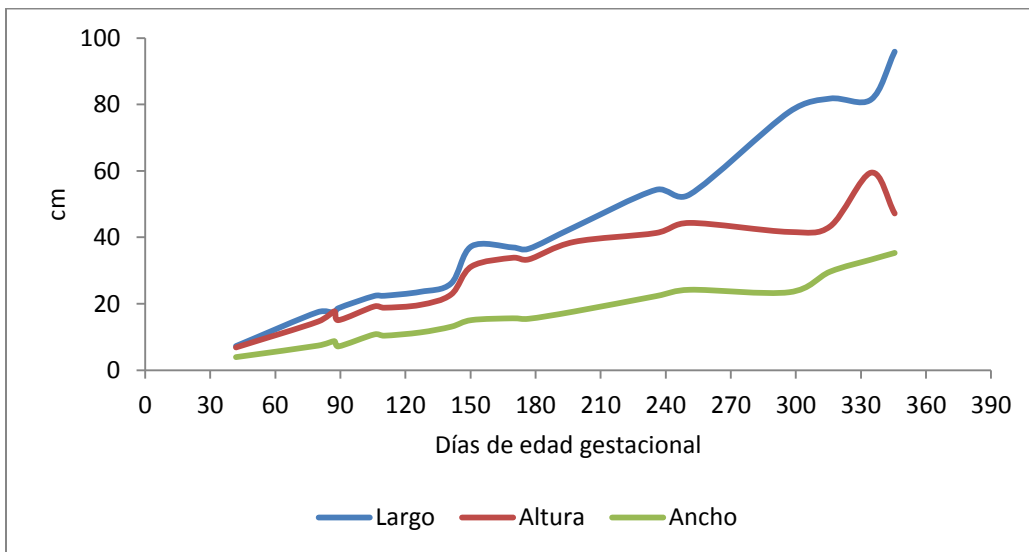


Gráfico 4. Distribución de las medidas del largo de base, ancho de base y altura de los pulmones izquierdos de fetos de alpaca por edad gestacional.