

Miren Emille Ortega Eguiluz

Estudio de las alteraciones  
traqueales en el ganado ovino:  
descripción, prevalencia y origen

Director/es

Ramos Antón, Juan José  
Ferrer Mayayo, Luis Miguel

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



© Universidad de Zaragoza  
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



**Universidad**  
Zaragoza

Tesis Doctoral

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES TRAQUEALES  
EN EL GANADO OVINO: DESCRIPCIÓN,  
PREVALENCIA Y ORIGEN**

Autor

**Miren Emille Ortega Eguiluz**

Director/es

Ramos Antón, Juan José  
Ferrer Mayayo, Luis Miguel

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**  
**Escuela de Doctorado**

Programa de Doctorado en Medicina y Sanidad Animal

2019









**Universidad**  
Zaragoza

FACULTAD DE VETERINARIA.

DEPARTAMENTO DE PATOLOGÍA ANIMAL.

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES  
TRAQUEALES EN EL GANADO OVINO:  
DESCRIPCIÓN, PREVALENCIA Y ORIGEN**

Directores:

Juan José Ramos Antón

Luis Miguel Ferrer Mayayo

Memoria presentada por la licenciada

Miren Emille Ortega Eguiluz

para optar al grado de Doctora en Veterinaria

Diciembre 2018





**Departamento de  
Patología Animal  
Universidad Zaragoza**



El Dr. Juan José Ramos Antón, Profesor Titular del Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza y el Dr. Luis Miguel Ferrer Mayayo, Profesor Titular del Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza,

**HACEN CONSTAR:**

Que la presente tesis doctoral, titulada: “Estudio de las alteraciones traqueales en el ganado ovino: descripción, prevalencia y origen”, presentada por D<sup>a</sup> Miren Emille Ortega Eguiluz, ha sido realizada bajo su dirección en el Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza. La memoria presentada corresponde al proyecto de tesis aprobado en su momento y cumple los requisitos exigidos para optar al grado de Doctor por dicha Universidad, por lo que autorizan su presentación para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firman el presente documento en Zaragoza, a 1 de diciembre de 2018.

Fdo: Juan José Ramos Antón

Fdo: Luis Miguel Ferrer Mayayo



A mi ama y a mi aita



INHALA

el futuro

EXHALA

el pasado

y siempre respíra

el AHORA

(Anónimo)



## Agradecimientos

---

Para llevar a cabo este proyecto he necesitado de la participación de varias personas. Muchas de ellas no se han dado ni cuenta, pero han sido vitales.

A mis directores, Juanjo Ramos y Luis Miguel Ferrer, por su paciencia, dedicación, sabiduría y ánimo. Una gozada trabajar con ellos.

A Txema, del cual admiro su capacidad de ver y controlar el mundo de la estadística. Gracias por tu ayuda, paciencia y generosidad.

A los compañeros del Gabinete Técnico Veterinario, sobre todo a Carlos, siempre dispuesto a ayudar y a ralentizar un poco el manejo para realizar la ardua tarea de explorar a todos los animales

A todos los ganaderos que me han permitido realizar esta labor y a los que admiro por su duro trabajo diario.

Un agradecimiento especial a Estefanía Peña y a su equipo, Aitor y Carlos de la división de Bioingeniería, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, por prestarnos su equipo y brindarnos la posibilidad de aprender un poco más sobre la física.

El agradecimiento más grande para Marta, el apoyo más grande que he tenido desde que comenzó mi aventura como veterinaria de campo. Ella ha sido mi familia lejos de casa y mi ejemplo a seguir. En mi balda hay una caja tuya.

Y por último y como es lógico:

A mis aitas, increíble lo agradecida que estoy por tenerlos.

A mis herman@s que me encantan.

A Miguel, Mikel e Iñaki, por poner mi vida patas arriba de una forma maravillosa.



# Índice

---

<b>1.- Introducción.....</b>	<b>21</b>
<b>2.- Objetivos.....</b>	<b>27</b>
<b>3.- Revisión bibliográfica.....</b>	<b>31</b>
3.1.- La ganadería ovina.....	31
3.1.1.- El sector ovino en el mundo y en Europa.....	31
3.1.2.- El sector ovino en España y Aragón.....	32
3.2.- Historia.....	39
3.3.- Anatomía.....	43
3.3.1.- Embriología.....	43
3.3.2.- Estructuras anatómicas del cuello.....	46
3.3.3.- Estructuras anatómicas de la tráquea.....	49
3.3.4.- Histología de la tráquea.....	52
3.3.4.1.- Cartílago traqueal.....	52
3.3.4.2.- Submucosa.....	56
3.3.4.3.- Lámina propia y membrana basal.....	57
3.3.4.4.- Mucosa.....	57
3.3.4.5.- Túnica adventicia.....	60
3.3.4.6.- Músculo liso.....	60
3.3.4.7.- Membrana transversa.....	61
3.3.4.8.- Ligamento anular.....	61
3.3.5.- Anatomía comparada.....	61
3.3.5.1.- Ovino.....	62

# Índice

---

3.3.5.2.- Ser humano.....	62
3.3.5.3.- Bovino.....	63
3.5.4.- Equino.....	63
3.3.5.5.- Suido.....	64
3.3.5.6.- Canino.....	65
3.3.5.7.- Conejo.....	65
3.3.5.8.- Aves.....	67
3.4.- Fisiología.....	69
3.4.1.- Fisiología de la respiración.....	69
3.4.2.- Fisiología de la tráquea.....	75
3.4.3.- Propiedades físicas y mecánicas de la tráquea.....	77
3.4.4.- Efectos de la pérdida de la geometría traqueal.....	80
3.5.- Cambios durante el desarrollo traqueal.....	89
3.6.- Patologías de la tráquea.....	101
3.6.1.- Trastornos intrínsecos.....	102
3.6.2.- Trastornos extrínsecos.....	108
<b>4.- Material y métodos.....</b>	<b>113</b>
4.1.- Estudio de campo.....	113
4.1.1.- Explotaciones sujetas a estudio.....	114
4.1.2.- Exploración clínica de la tráquea.....	117
4.1.2.1.- Identificación individual .....	117
4.1.2.2.- Edad.....	118

# Índice

---

4.1.2.3.- Localización.....	118
4.1.2.4.- Tipo de lesión traqueal.....	119
4.2.- Encuesta epidemiológica.....	122
4.2.1.- Raza.....	122
4.2.2.- Sistemas de producción de las explotaciones.....	123
4.2.3.- Planificación reproductiva.....	124
4.2.4.- Desvieje de animales.....	125
4.2.5.- Reposición.....	126
4.2.6.- Alimentación en estabulación.....	126
4.2.7.- Tipo de comedera.....	127
4.2.8.- Disponibilidad y desinfección del agua.....	128
4.2.9.- Desinfección de la nave.....	129
4.2.10.- Exploración general de la explotación.....	129
4.3.- Estudio de resistencia a la compresión.....	133
4.3.1.- Descripción del equipo.....	133
4.3.2.- Obtención y preparación de las muestras.....	133
4.3.3.- Protocolo de ensayo y recogida de datos.....	136
4.4.- Estudio estadístico.....	138
<b>5.- Resultados.....</b>	<b>141</b>
5.1.- Estudio de campo.....	141
5.1.1.- Prevalencia de lesión traqueal según localización.....	142
5.1.2.- Prevalencia de lesión traqueal según tipo de lesión...	145

## Índice

---

5.1.3.- Prevalencia de lesión traqueal por rebaños.....	147
5.1.4.- Prevalencia de lesión traqueal según la edad.....	154
5.1.4.1.- Edad-Grupos de edad.....	161
5.1.4.2.- Edad-Localización de la lesión.....	163
5.2.- Estudio de la encuesta epidemiológica.....	163
5.2.1.- Prevalencia según la raza.....	164
5.2.2.- Prevalencia según tasa de reposición.....	164
5.2.3.- Prevalencia según tasa de desvieje.....	165
5.2.4.- Prevalencia según planificación reproductiva.....	165
5.2.5.- Prevalencia según el manejo durante el parto.....	166
5.2.6.- Prevalencia según tipo de comedero.....	167
5.2.7.- Prevalencia según el tipo de pasto.....	167
5.2.8.- Prevalencia según el tipo de alimentación en estabulación.....	168
5.2.9.- Prevalencia según el aporte de minerales.....	169
5.2.10.- Prevalencia según origen y desinfección del agua.....	170
5.2.11.- Prevalencia según la desinfección de la nave.....	171
5.2.12.- Prevalencia según el censo de la explotación.....	172
5.2.13.- Prevalencia según valoración general de la explotación.....	172
5.3.- Estudio de resistencias a la compresión.....	179
5.3.1.- Medidas de la tráquea.....	179

# Índice

---

5.3.2.- Fuerzas de compresión.....	184
<b>6.- Discusión.....</b>	<b>191</b>
6.1.- Estudio de campo.....	191
6.2.- Estudio de resistencias a la compresión.....	201
6.2.1.- Medidas de la tráquea.....	201
6.2.2.- Fuerzas de compresión.....	202
<b>7.- Conclusiones.....</b>	<b>205</b>
<b>8.- Resumen.....</b>	<b>209</b>
<b>9.- Summary.....</b>	<b>215</b>
<b>10.- Bibliografía.....</b>	<b>221</b>





**1.**

# **Introducción**





## Introducción

La sociedad actual está cada vez más concienciada de la importancia de la protección y bienestar animal, tanto de compañía como de abasto. Por esta razón, cada vez más, se demandan productos de origen animal que garanticen la calidad ética en sus sistemas de producción. Esta calidad se puede mirar desde dos puntos de vista, el primero enfocado a criar a los animales en sistemas sostenibles que no perjudiquen al medio ambiente y el segundo, se refiere a que los animales durante su crianza, transporte y sacrificio sean tratados respetando en todo momento el bienestar animal.

Según la OIE (2018) “el bienestar animal es el modo en que un animal afronta las condiciones en las que vive”. Los principios de la OIE sobre bienestar se basan en cinco puntos publicados en el 1965, y que describen los derechos sobre bienestar que tienen los animales que se encuentran bajo control del ser humano y son los siguientes:

- Los animales deben estar libres de hambre, sed y desnutrición.
- Deben estar libres de incomodidad física o térmica y malestar.
- Deben estar libres de dolor, injurias y enfermedades.
- Los animales deben ser libres de expresar las pautas propias de su comportamiento.
- Los animales deben estar libres de miedo y angustia (estrés).

## Introducción

---

Estas normas no son medidas sanitarias, pero desempeñan una importante función en el comercio internacional porque son las únicas normas de aplicación mundial y con base científica que están acordadas por las naciones de todo el mundo con implicación en el comercio.

El bienestar animal es un tema de creciente importancia en la Unión Europea, pudiendo constituir en un futuro no muy lejano un valor añadido a la calidad del producto que se entrega a los consumidores. La especie ovina no es una excepción en este tema, aunque sea percibida como una especie muy adaptable y tolerante debido a su inexpresividad y a su forma de comunicar o expresar el dolor. No obstante, su capacidad para sentir dolor es similar a la de otras especies cuya forma de expresión consiste en estrategias más llamativas. Los estresores más importantes que le afectan tienen su origen fundamentalmente en el alojamiento y el manejo. Aunque en España el sistema mayoritario de producción ovina se considera extensivo o semi-intensivo durante los periodos de no pastoreo, las ovejas son recogidas en instalaciones. En ocasiones, estas son muy reducidas y mal dimensionadas, o son alojadas en condiciones muy pobres con escasa estimulación ambiental y una elevada restricción espacial y capacidad de movimientos (María y Miranda de la Lama, 2009).

Los ovinos son animales muy sociales y gregarios, que en condiciones naturales, tienen su propia forma de interrelacionar, pero la paulatina intensificación productiva ha introducido cambios significativos en la densidad poblacional, segregación sexual, reagrupaciones constantes, cambios de alimentación, manipulación en momentos comprometedores como gestación, destete, etc. En estas condiciones, la competencia por los recursos limitados, como los comederos, bebederos y áreas de descanso, aumenta de tal modo que afecta a la estructura social del grupo. No se establecen jerarquías ni lazos estables entre los componentes del rebaño o lote aumentando la frecuencia de comportamientos estereotipados y anormales, que según algunos estudios, se pueden asociar a un empeoramiento del bienestar animal (María y Miranda de la Lama, 2009).

## Introducción

---

La tráquea participa en el sistema de conducción del aire durante la respiración. El volumen de aire que entra y sale del pulmón por minuto, está en cierta sincronía con el sistema cardiovascular, el estado fisiológico y el ritmo circadiano (como disminución de la frecuencia de inhalación/exhalación durante la noche y en estado de vigilia/sueño), variando entre 6 a 8 litros/minuto.

La tráquea, a pesar de la fácil accesibilidad para su estudio, es una de las partes que conforma el sistema respiratorio que menos exploramos, ya que solamente se realiza la exploración cuando muestra lesiones evidentes o se observa sintomatología respiratoria muy marcada.

Por otro lado, es reseñable que, siendo estas alteraciones traqueales relativamente frecuentes en el ganado ovino, la información bibliográfica existente y referida a esta especie animal es prácticamente nula. Casi toda la información al respecto tiene su origen en medicina humana.

La presencia de lesiones traqueales en el ganado ovino, a falta de estudios, no ha demostrado tener una importante repercusión económica negativa sobre las explotaciones, pues no parece que haya una disminución de las producciones, pero si podría ser causa de una falta de bienestar en las ganaderías. También podría favorecer otras patologías, principalmente pulmonares pero no está demostrado ni se ha estudiado.

El hecho de detectar una gran cantidad de alteraciones en “la forma” de la tráquea durante el ejercicio diario propio de nuestra profesión, nos llevó a plantear un estudio sobre la prevalencia y posibles causas que pudieran dar lugar a la aparición de estenosis traqueales y roturas de anillos. En el mismo analizamos la patología hallada desde distintas perspectivas para entender cómo podrían producirse dichas alteraciones.





**2.**

**Objetivos**





## Objetivos

En el origen de las lesiones traqueales que aparecen en los animales, suponemos que hay factores vinculados al manejo que predisponen a la aparición de las mismas, por lo tanto, en el planteamiento de este trabajo pretendemos valorar la incidencia de las alteraciones traqueales en ovejas de distintos rebaños y su relación con posibles factores predisponentes, como son: la edad, manejo o el sistema de alimentación.

La aparición de los síntomas clínicos depende tanto del grado de estenosis como de la velocidad del flujo aéreo, por lo que inicialmente, salvo lesiones graves de la tráquea que produzcan una marcada disminución de la luz, el animal no mostrará síntoma alguno en reposo pero si podría mostrarlo con el ejercicio, al aumentar la velocidad del flujo inspiratorio. Cuando una estenosis traqueal comienza a ser sintomática en reposo, lo más probable es que el diámetro de la vía aérea se haya reducido al menos un 75%, dejando una luz no mayor a 5 mm de diámetro (Al-Qadi et al., 2013).

Por lo tanto, al ser un problema poco evidente pero que afecta directamente al bienestar animal, es importante que los profesionales veterinarios dedicados a la clínica del ganado ovino puedan asesorar a los ganaderos a que realicen un adecuado manejo, con objeto de reducir la incidencia de estas lesiones que merman la calidad de vida de sus animales y posiblemente de sus producciones.

## Objetivos

---

Partiendo de la hipótesis de que hay factores vinculados al manejo que predisponen a la aparición de las citadas alteraciones, en este trabajo hemos fijado tres objetivos:

- Conocer la incidencia de alteraciones traqueales mediante un estudio epidemiológico llevando a cabo en distintas explotaciones de ganado ovino de las provincias de Zaragoza y Huesca.
- Construir un perfil de las lesiones traqueales halladas en los animales explorados.
- Conocer los posibles factores que puedan estar relacionados con la aparición de dichas alteraciones: edad, manejo, alimentación e instalaciones.



### **3. Revisión bibliográfica**





# Revisión Bibliográfica

### 3.1. LA GANADERÍA OVINA

#### 3.1.1. El sector ovino en el mundo y en Europa

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, FAO, del año 2014 (FAO, 2017) existen en el mundo 1.195 millones de cabezas de ganado ovino. Los países con más censo son: China (13,9%), Australia (7,4%), India (5,4%) e Irán (4,3%).

Con respecto a la producción de carne, cada año son sacrificadas 545 millones de cabezas, lo que supone cerca de 9 millones de toneladas de carne de ovino. China, con un 21,2% de la producción total mundial, Australia con un 7%, Nueva Zelanda con un 5,8% y Reino Unido con un 3,5%, son los principales productores (FAO, 2017).

En Europa existen 130 millones de cabezas de ovino. Tres países acaparan la mayor parte del censo de esta especie: Reino Unido (24 millones de cabezas), Rusia (22 millones) y España (16 millones). Por detrás aparecen Grecia (9 millones), Rumania (9 millones), Francia (7 millones), Italia (7 millones) e Irlanda (5 millones) (FAO, 2017).

## Revisión bibliográfica

---

Los principales países importadores, tanto de carne fresca como congelada a nivel europeo, según datos de la FAO (2000-2014) son Francia y Reino Unido. Los principales exportadores son Reino Unido, Irlanda y España.

En Europa existen dos sistemas de producción ovina fundamentales, que vienen determinados en función de la geografía: un sistema extensivo, mediante pastoreo con cercas en la Europa verde o del norte y un sistema semi-intensivo, en la Europa mediterránea. Este último se desarrolla en un medio con pocos recursos pastables y una gran estacionalidad de los mismos, que obliga a desplazar a los animales en busca de alimento casi a diario o por estaciones (trashumancia).

### **3.1.2. El sector ovino en España y Aragón**

En España, según datos del Ministerio de Agricultura Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, existen 16 millones de cabezas (MAPAMA, 2016), lo que supone un 30% del censo total de ganado. El mayor número de ejemplares se encuentran en Extremadura con el 21,5% del total y Castilla León con el 19,7%. El número de efectivos ha sufrido un descenso generalizado desde el año 2006 (15,21%), y la tendencia según las últimas estadísticas continúa.

En cuanto a la producción de carne ovina, según datos del año 2016, en España se sitúa alrededor de 100.000 toneladas, lo que representa el 1,7% del total de carne producida, ocupando la cuarta posición (por detrás del ganado porcino, aves y bovino).

Castilla y León produce el 25,1% de la carne total de ovino, seguido de Cataluña con el 14%, Castilla la Mancha con el 13,2% y Aragón con el 10,7% (MAPAMA, 2015).

Respecto al comercio exterior, en 2015 se importaron 9.700 toneladas de carne y despojos de ovino-caprino por valor de 57.900.000 euros y las exportaciones supusieron 37.000 toneladas (145.700.000 €). El origen principal de las

## Revisión bibliográfica

---

importaciones fue Nueva Zelanda (representando el 74,5% de las importaciones procedentes de terceros países o el 35,8% del total). Dentro de la Unión Europea, España importa de países como Italia (23,6% de la UE y 12,30% del total), Grecia (16,9% de la UE y 8,8% del total), Francia (16,5% de la UE y 8,6% del total), y Países Bajos (16,2% de la UE y 8,4% del total), y exporta principalmente tanto a países europeos: Francia (47,3%), Italia (18,6%), Grecia (10,6%), como a terceros: Argelia (7,9%).

En Aragón, según el Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN, 2016), a fecha uno de enero de 2016 hay 5.102 explotaciones de un total de 116.296 que hay a nivel nacional. Esto corresponde al 4,4% de las explotaciones totales mientras que el censo en esa misma fecha es de 1.789.434 cabezas y representa el 10,6% del total. Esto nos da una media de 351 animales por explotación, pero cabe destacar que el censo y número de explotaciones ha fluctuado bastante a lo largo de los años. La falta de relevo generacional y cuestiones de rentabilidad han obligado a una reestructuración de las explotaciones que se hace bien patente en el periodo 2000-2006, cuando desapareció un número elevado de ganaderías tradicionales. En seis años, el número de explotaciones disminuyó un 26% en el conjunto de España. En Aragón fue del 37%. Con el objetivo de obtener mejores resultados económicos las explotaciones se redimensionaron aumentando el número de ovejas por explotación. En Aragón, el incremento fue del 43% frente al 23% del resto de España (González, 2015). Sin embargo debido al aumento del valor de las materias primas para la alimentación y de otros costes, que no se ha acompañado de un incremento en el valor de las producciones, los censos han vuelto a bajar en el periodo 2006-2014 siendo de un 31% y un 36% en España y Aragón respetivamente (MAPAMA, 2016).

En la producción actual de ganado ovino existen tres especializaciones: producción de leche, con una gran cantidad de explotaciones intensivas y estabuladas, producción de carne y producción mixta de carne/lana, con un sistema de producción y manejo semi-intensivo o extensivo.

## Revisión bibliográfica

---

El interés zootécnico de la especie ovina se basa en su eficacia para aprovechar los recursos de áreas áridas y semiáridas de bajas disponibilidad forrajera, zonas de monte y restos de cultivos y subproductos agrícolas. Su adaptación al pastoreo y bajo formato corporal son caracteres que les permiten satisfacer sus necesidades nutritivas más fácilmente que otras especies animales de mayor tamaño (Daza, 2002).

El pastoreo tradicional utiliza eficazmente todos los recursos naturales que existen y, en equilibrio con el medio ambiente, contribuye a mantener la flora y la fauna autóctonas. Técnicos y productores empiezan a ser conscientes de la importancia del aprovechamiento a diente de los recursos naturales por parte del ganado ovino porque contribuyen al mantenimiento de los diferentes ecosistemas, aprovechando incluso pastos de menor valor nutritivo como son los eriales. Este ganado contribuye también a incrementar la materia orgánica del medio y permite la conservación de la cubierta vegetal de los suelos pobres y escasos y, sobre todo, contribuye de forma eficaz a la prevención y control de los incendios y al mantenimiento de la población en el medio rural.

Las explotaciones ganaderas son fundamentalmente una actividad económica que debe generar resultados empresariales satisfactorios. Para ello tenemos que valorar muy bien cuáles son los recursos disponibles: instalaciones, maquinaria, pastos, mano de obra, etc. Y por otro lado, el tipo de ganado y el manejo más adecuado en aspectos tales como: sanidad, genética, pariciones, alimentación, etc. Las explotaciones que no trabajen teniendo en cuenta todos estos factores terminarán convirtiéndose en actividades económicas inviables y, por lo tanto, deberían reconvertir sus estructuras o técnicas de producción hasta conseguir una mayor viabilidad. Por todo ello, en nuestro sistema actual la forma más viable para mantener nuestra cabaña es el sistema semi-intensivo.

El sistema semi-intensivo permite compaginar mejor el trabajo en la época de partos con otras labores y la alimentación de los animales. Hay que prestar

## Revisión bibliográfica

---

especial atención a las instalaciones, que deben permitir acoger a todos los animales, sobre todo en la temporada en que existe una mayor masificación, como es el momento de la parición. También hay que tener en cuenta que sigue existiendo cierta estacionalidad en la oferta de corderos, y por extensión en la época de partos, derivada de la estacionalidad reproductiva de la especie ovina y por los hábitos de consumo. Existe una gran variabilidad en el consumo de carne según el mes del año. Tomando como referencia el 2015, podemos observar que los mayores consumos se centran en el mes de diciembre con un 20%, seguido del mes de enero con un 10% y la suma del periodo comprendido entre marzo y mayo, ambos inclusive suponen el 24,8 % (MAPAMA, 2016).

La alimentación del rebaño siempre se ha caracterizado por la alternancia de periodos de excedentes y periodos de subalimentación, que vienen condicionados por la meteorología, zona y acceso a pastos. Este hecho se puede subsanar conociendo bien cuáles son los requerimientos alimenticios del ganado, según el momento reproductivo en el que se encuentren, y gestionando correctamente las reservas corporales, en el caso de la energía. Por el contrario, la oveja dispone de escasas reservas fácilmente disponibles de proteínas, siendo, por ello, indispensable satisfacer en todo momento las necesidades proteicas.

Durante el ciclo de producción de un animal podemos detectar varios periodos críticos relacionados con la alimentación. Debemos tenerlos bien presentes y actuar en consecuencia para una correcta gestión de la explotación y obtener unas producciones óptimas. Dichos periodos son:

- Momento de alcanzar la pubertad. La edad a la que las corderas alcanzan la pubertad tiene un gran interés práctico ya que determina el comienzo de la capacidad reproductiva de los animales; influyendo en la vida productiva útil de las ovejas y consecuentemente en la rentabilidad de las explotaciones. Varios factores intervienen en la aparición de la pubertad, la raza, la nutrición, el desarrollo corporal, las interacciones sociales, la época de nacimiento, pero es la interacción entre el peso, grado de desarrollo corporal, y la época de

## Revisión bibliográfica

---

nacimiento la que ejerce una mayor influencia. Al ser la oveja un animal estacional, es necesario que las corderas nacidas en primavera alcancen un grado de desarrollo corporal mínimo, de aproximadamente  $2/3$  del peso del animal adulto, durante su primera estación reproductiva, para que se inicie la pubertad en este periodo (6-8 meses). Si esto no ocurre, entramos en anoestro estacional y la primera cubrición no se producirá hasta la estación reproductiva siguiente (16-18 meses) (Abecia y Forcada, 2010).

- Momento anterior a la cubrición, durante y tras la cubrición. Al momento de la cubrición, los animales deben llegar en un estado corporal medio. En caso de que sea posible se debe realizar una sobrealimentación energética para aumentar la fecundidad. Una buena alimentación previa a la cubrición y durante la misma va a permitir una mejora de la tasa de ovulación y de la viabilidad embrionaria y, por tanto, de la prolificidad biológica (Abecia y Forcada, 2010).
- Final de la gestación. Las necesidades fetales de nutrientes alcanzan una importancia considerable durante el último tercio de la gestación, aunque la deficiencia de ciertos nutrientes puede ejercer un efecto negativo a lo largo de la gestación. Las necesidades de energía y de proteína durante el final de la gestación pueden ser dobles (Church, 1988). Esto es debido a que casi el 80% del crecimiento fetal tiene lugar en las 6 últimas semanas de la gestación (Olfati et al., 2013). Una correcta alimentación al final de la gestación va a permitir mejorar el peso al nacimiento del cordero, permitiendo que éste tenga más vigor en el momento de la toma del calostro, estimulando a su vez la producción de leche de la madre. Por lo tanto, una correcta alimentación en la fase final de la gestación es una práctica de manejo adecuada para reducir la mortalidad perinatal y mejorar así la prolificidad (Abecia y Forcada, 2010).
- Momento de la lactación. Tras el parto, debemos aumentar la concentración de energía y de proteína para la producción de leche, que es cuando el cordero comienza a tener necesidades altas y ha pasado el periodo de mayor riesgo de

## Revisión bibliográfica

---

presentar diarreas neonatales, a su vez, para alcanzar un equilibrio energético adecuado para una nueva cubrición. La oveja de parto doble, puede aumentar en un 50-60% sus necesidades nutritivas, con respecto a las que tenía al final de la gestación, y alcanzar así su máxima producción de leche, lo que puede suponer aumentar unas 3 veces sus necesidades normales o de mantenimiento (Curch, 1988).

Para poder realizar todo esto correctamente debemos tener en cuenta que la alimentación del rebaño está influenciada por la capacidad de ingestión del animal a lo largo de su ciclo de producción. De este modo, podemos recalcar que desde la cubrición hasta las 4-6 últimas semanas de gestación, la capacidad de ingestión permanece estable, pero a partir del último mes de gestación la ingestión disminuye hasta un 20% en los días previos al parto, por lo que se produce una caída importante de la ingesta. Esto se debe al aumento del volumen del útero en la cavidad abdominal en detrimento del volumen del rumen, ocasionado por el incremento del tamaño de los fetos y anexos, ya que es cuando se produce casi el 90% del desarrollo fetal (ganancia media de peso del feto de unos 100-120 g/día). La ingestión aumentará progresivamente hasta alcanzar el nivel máximo, hacia las 5 semanas posparto. Las variaciones diarias de ingestión según peso vivo, condición corporal, número de corderos gestantes y peso al parto quedan reflejadas en las tablas INRA (1988), donde podemos observar que la capacidad de ingestión medida en unidades lastre ovina (ULO) de ovejas vacías es superior que en las gestantes, y que la capacidad de ingestión se incrementa con el peso total de la camada, mientras que para un mismo peso de ésta disminuye con el número de corderos gestados (Bocquier et al., 1990).

Esta es la razón por la que, en algunas explotaciones, los animales son estabulados con anterioridad al comenzar la parición, para alimentarlas con raciones de mayor densidad energética y forrajes de buena calidad.

Dicho todo esto, lo primero que hay que observar es el espacio disponible para afrontar la parición, repartiendo dicho espacio entre ovejas gestantes, de parto o

## Revisión bibliográfica

---

criando, espacio de los corderos y el cebadero, y la reposición si la hay. Debemos ser conscientes del número de ovejas que viene a parir en cada parición y con ello organizar la existencia de comederos suficientes, es decir, metros lineales de comedero, y su localización. Se debe tener en cuenta, a la hora de calcular los metros lineales de comedero, si todos los animales de un lote pueden comer al mismo tiempo.

La alimentación puede ser de dos tipos:

-Alimentación restringida, es decir cuando el animal sólo puede comer en el momento en el que se le proporciona el alimento, por lo que entra en juego el factor de competencia y de jerarquía.

-*Ad libitum*, a discreción, cuando dejamos que sean las necesidades biológicas del animal las que regulen el consumo.

Cuando la alimentación es restringida, un comedero que no permita el acceso al alimento de todos los animales a la vez, origina una competencia por los recursos dando lugar a empujones, aplastamientos y desplazamiento de los más débiles. Se debe tener en cuenta el estado corporal de los animales y momento productivo a la hora de calcular los metros lineales de comedero.

Dicha competencia supone un factor de estrés y de agresiones físicas que tendrá efectos negativos en términos de bienestar animal y podría ser uno de los factores que influyen en la presencia de lesiones traqueales, condición corporal, etc...

Según Lindley y Whitaker (1996) y Daza, (1997), en estabulación, una oveja de entre 50 y 80 kg, necesitaría de 40 a 50 cm lineales de comedero para satisfacer sus necesidades de espacio, que equivale aproximadamente a la anchura de la grupa de los animales. Esto es así si la alimentación es restringida. También se debe tener en cuenta la producción de estiércol según el tipo de animal alojado, periodicidad de recogida o cantidad de cama añadida al suelo, puesto que todo esto variará la altura del comedero o la profundidad del mismo.

### 3.2. HISTORIA

La traqueotomía es una de las técnicas quirúrgicas más antiguas. El primer registro sobre traqueotomía lo encontramos en las tablillas de la primera dinastía egipcia del año 3.600 a.C., donde aparecen representados el paciente y el “cirujano” realizando un ritual religioso para una operación de garganta. Posteriormente, aparece representada en esculturas de la primera dinastía (3.200 a. C.) de la época de los reyes Aha y Djer, y hacia el 1.550 a. C. en el papiro de Ebers se relata una incisión de tráquea (Pasalodos, 2012) y se refiere a la tráquea como el “tubo de viento” (Rajesh y Meher, 2005).

Los hindúes mencionan en el Rig Veda, su libro sagrado escrito entre 1.700 y el 1.100 a.C., una descripción de un procedimiento quirúrgico en la tráquea y señalan que la tráquea puede “reunirse cuando se cortan los cartílagos cervicales, a condición de que no estén completamente cortados” (Grillo, 2003).

A lo largo de los años posteriores numerosos escritos describen técnicas similares; Homero, autor de La Ilíada y La Odisea, narra cómo, en el siglo VIII a.C., se puede salvar a una persona de morir asfixiada al hacer un corte en su tráquea.

La operación de la traqueotomía fue mencionada por Areteo (85-138) y por Galeno (129-199) y en el segundo siglo después de Cristo, pero no llegaron a practicarla. Por esa época, llamaban a la tráquea la “arteria áspera” (Grillo, 2003).

La primera descripción de una traqueotomía se le adjudica a Asclepiades de Bitinia (124 o 129 a. C.- 40 a. C), médico griego. Areteo de Capadocia (85-138) confirma el trabajo de Asclepiades en sus escritos “Terapéutica de las enfermedades agudas”; sin embargo, afirmaba que las heridas del cartílago traqueal no eran capaces de sanar. Más adelante, Caelius Aurelianus (siglo V d.C.) condenó el procedimiento al referirlo como irresponsable y bárbaro. Estas opiniones y el riesgo de muerte influyeron en la decisión de los médicos de la época de no realizar la cirugía (Vilar-Puig et al., 2016). En el siglo II, Antyllus

## Revisión bibliográfica

---

fue el segundo cirujano en realizar esta práctica y describe el procedimiento de forma muy similar a como se hace hoy.

Durante la Edad de Oro del Islam (siglos VIII-XII d. C.), el mundo árabe tuvo un gran esplendor en artes y ciencias. Surgieron grandes médicos que describían y realizaban con toda precisión diversos procedimientos quirúrgicos. Entre ellos, Abulcasis (936-1013), habitante de la ciudad de Córdoba, fue precursor en el uso de hilos de seda como suturas; desarrolló decenas de instrumentos quirúrgicos y demostró que el cartílago traqueal podía sanar; este último descubrimiento lo hizo tras suturar la tráquea de una joven que se cortó el cuello en un acto suicida (Vilar-Puig et al., 2016).

Fabricius de Acquapendente (1537-1619) y su discípulo Caserius (1545-1605) describieron claramente el procedimiento, pero no realizaron ninguna intervención por el riesgo que suponía para su reputación. A Fabricius se le atribuye el hecho de sustituir el término "arteria" por el de "tráquea" y describe la incisión vertical (antes de él se prefería la incisión horizontal). También, creó la primera cánula, más recta y corta que las actuales, y además describe la técnica en las "Tabulae Anatomicae" en 1627. Este tubo era una cánula corta y derecha con dos alas para que el tubo no se deslizara dentro de la tráquea y para amarrarla al cuello. Su discípulo Caserius sugirió una cánula curva para amoldarse mejor a la anatomía de la tráquea.

Vesalius fue el primero en intubar la tráquea de un animal en 1543, lo que hizo que se mantuviera el interés (Ezri, 2005).

El "periodo del miedo" (1546-1833), clasificado así por McClelland en 1972 (De Santiago, 2017), se caracterizó por la reticencia de los médicos a realizar esta cirugía debido a las complicaciones letales, por lo que se realizaba solamente en caso de haber obstrucción severa de la vía aérea superior, causada por cuerpos extraños o infecciones. En esta época se reportaron únicamente 28 traqueotomías exitosas.

## Revisión bibliográfica

---

El primer caso documentado de una traqueotomía exitosa fue publicado en 1546 por Antonio Musa Brassavola (1490-1554) en Italia, que trató a una persona aquejada de un absceso faríngeo mediante una traqueotomía después de que el paciente hubiera sido rechazado por un cirujano barbero (Grillo, 2003). Fabricius Acquapendente se escandalizó en principio por esta intervención, pero más adelante se valió de ella para introducir el uso de cánulas.

Marco Aurelio Severino (1580-1656) usó la traqueotomía durante una epidemia de difteria en Nápoles en 1610, realizando el procedimiento a través de una incisión vertical recomendada por Fabricius.

Durante estos años los escritos de Buassorolo dejaban constancia de cómo se consideraba la traqueotomía como un procedimiento inadecuado, que pocos cirujanos se atreverían a practicarlo (Hernández et al., 2007).

En una tercera etapa entre 1833 y 1955, Trousseau (1801-1867) publicó en 1833 un estudio donde comunicaba 200 casos de difteria en niños en los que realizó la traqueotomía con “éxito”. En 1851 publicó su famoso “Recherches sur la Trachéotomie” en el cual explica que de unos 215 casos sólo 50 pacientes sobrevivieron (Pasalodos, 2012). Así mismo, hizo hincapié en la importancia de la atención postoperatoria (Rajesh y Meher 2005). Fue de esta manera que la traqueotomía se fue convirtiendo en una cirugía exitosa para tratar principalmente la obstrucción respiratoria aguda y la asfixia. Debieron pasar 100 años hasta que Wilson en 1932 demostró la utilidad terapéutica y preventiva para el manejo de la poliomielitis, adquiriendo de este modo más seguidores hasta llegar a la actualidad (Hernández et al., 2007).

A principios de la década de 1870, Trendelenburg de Alemania realizó la primera anestesia endotraqueal en el hombre. Macewen en 1878 informó de la primera intubación endotraqueal electiva para anestesia. Más tarde, Rosenberg y Kuhn administraron cocaína como anestésico local para anular el reflejo de la tos durante la intubación (Ezri, 2005).

## Revisión bibliográfica

---

En 1909 se presentó una técnica de traqueotomía inferior, en la cual la incisión abarcaba del 4° al 5° anillo traqueal. Chevalier Jackson refinó esta técnica al encontrarse frente al reto de la epidemia de poliomielitis en 1940. Actualmente esta técnica se aplica prácticamente igual. Galloway utilizó la traqueotomía en el tratamiento de la parálisis (Rajesh y Meher 2005).

Respecto al mundo pediátrico, la obstrucción de las vías respiratorias de los niños no fue estudiada por vez primera hasta 1765. A principio de los años 1800, por efecto de la difteria se realizaban traqueotomías en niños. La primera documentada con buenos resultados fue en 1808 (Rajesh y Meher, 2005). El primer tubo para traqueotomía pediátrica fue introducido por Parker en 1880. En 1965, Mc Donald y Stocks describieron el uso de la intubación y soporte respiratorio para pacientes neonatos. Esto revolucionó los cuidados de los neonatos, y al mismo tiempo ha ayudado a más niños a sobrevivir aquejados de estenosis subglóticas (Rajesh y Meher, 2005).

En la actualidad, la incidencia de traqueotomía para la ventilación mecánica prolongada ha aumentado un 200% entre los años 1.993 y 2.002 (Pasalodos, 2012). Las tasas de mortalidad en la traqueotomía se encuentran entre 0,5 y 3% (Rajesh y Meher 2005).

Respecto a las anastomosis traqueales, Gluck y Zeller en 1881 demostraron la curación después de la anastomosis traqueal de extremo a extremo en perros y creían que la técnica podría utilizarse en humanos. En 1886, se aplicó en medicina humana (Grillo, 2003).

La cirugía traqueal por estenosis, tumores, lesiones iatrogénicas, lesiones congénitas etc. ha crecido y mejorado en los últimos 40 años. Usando procedimientos de movilización, las técnicas quirúrgicas actuales permiten la resección de aproximadamente la mitad de la tráquea adulta con reconstrucción mediante anastomosis primaria (Grillo, 2003).

### 3.3. ANATOMÍA

El aparato respiratorio de los rumiantes está formado por vías respiratorias, pulmones y músculos respiratorios que tiene como finalidad asegurar el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el organismo y el exterior. El oxígeno es necesario para el funcionamiento celular y el anhídrido carbónico, que se produce en el metabolismo tisular, debe ser eliminado fuera del organismo. Además del intercambio de gases, el sistema respiratorio desempeña otra serie de funciones no relacionadas directamente con el proceso respiratorio, como son: participar en la regulación de pH del organismo, actuar en los mecanismos de defensa del organismo eliminando las sustancias nocivas que entran en el sistema respiratorio, así como las sustancias producidas en el mismo, y realizar ciertas funciones metabólicas.

La tráquea es el elemento más largo de las vías respiratorias aéreas, las cuales se clasifican en 3 tipos: de conducción, de transición y respiratorias. La tráquea forma parte de las vías de conducción (García et al., 1995).

#### 3.3.1. Embriología

Durante el periodo fetal se produce un crecimiento fisiológico del cuerpo debido a una maduración de los tejidos, órganos y sistemas. Inicialmente, dicho crecimiento es lento y se basa en el proceso de hiperplasia (multiplicación celular), para producirse en el último tercio de la gestación un crecimiento mucho más rápido caracterizado por una hipertrofia (aumento del tamaño celular) (Smok et al., 2014).

La gestación de la oveja tiene una peculiaridad, que le diferencia de otras especies, y es que, durante las dos semanas siguientes a la fertilización de los óvulos, los embriones se desarrollan sin mantener ningún tipo de unión con el útero, evolucionando y alimentándose únicamente a partir de fluidos uterinos. En la tercera semana comienza a desarrollarse la placenta, mientras que el

## Revisión bibliográfica

---

crecimiento del feto es muy escaso (Ferrer et al., 2005). Durante la segunda mitad de la gestación se producirá el desarrollo del cordero, que se verá condicionado por el ambiente uterino, es decir, por la capacidad de la placenta para permitir el paso de nutrientes de la oveja al feto, por el número de cotiledones y por el estado nutricional de la oveja.

Si durante la fase de hiperplasia, anteriormente mencionada, se produce una interferencia del crecimiento celular, puede originarse una falta del crecimiento corporal permanente, dejando secuelas que serán proporcionales al periodo de desnutrición. Sin embargo, un problema de restricción de alimentación leve, en la fase de crecimiento celular, dará como consecuencia la formación de células más pequeñas (Rojas y Rodríguez, 1987), dando lugar a corderos con menor peso al nacimiento, pero con todos sus órganos completamente formados. Dichas células pueden recobrar su tamaño normal al mejorar las condiciones ambientales.

La formación del aparato respiratorio en los mamíferos se inicia en la pared ventral del intestino anterior, con la aparición de un divertículo respiratorio llamado “yema pulmonar”. El epitelio del revestimiento interior de la laringe, la tráquea, los pulmones y los bronquios es de origen endodérmico. Mientras que los tejidos cartilagosos, musculares y conjuntivos de la tráquea y los pulmones provienen del mesodermo visceral que rodea al intestino anterior.

Cuando la yema pulmonar se expande caudalmente, se forman dos crestas longitudinales denominadas crestas traqueoesofágicas, que separan dicho divertículo del intestino anterior. Las crestas traqueales tras fusionarse forman el llamado tabique traqueoesofágico, quedando el intestino anterior dividido en dos, una parte dorsal, que es el esófago, y una porción ventral que es la tráquea y las yemas pulmonares (Sadler, 2012). A medida que se va separando la tráquea se van formando las yemas pulmonares, y de éstas, a su vez, se van formando las yemas bronquiales (figura 1). Estas yemas se van haciendo cada vez más grandes para crear los bronquios principales derecho e izquierdo, y los bronquios lobulares. A partir de estos se irán ramificando los bronquios segmentarios, que

## Revisión bibliográfica

también se irán ramificando y disminuyendo en diámetro dando lugar a los bronquiolos y terminando en los alveolos.

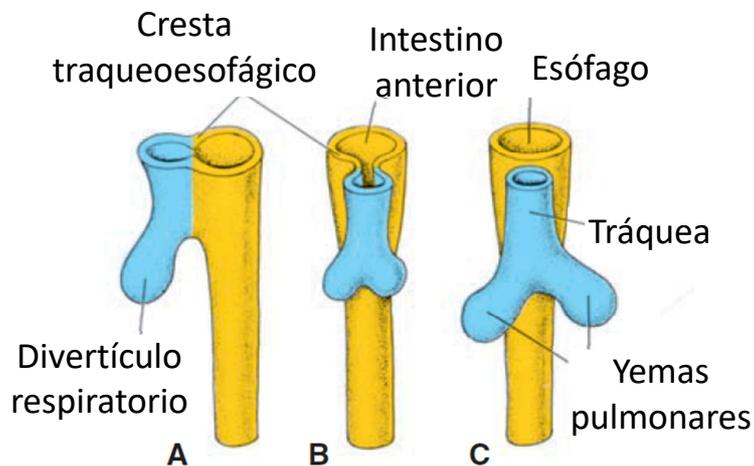


Figura 1: A-C: Fases sucesivas en el desarrollo del divertículo respiratorio en las que pueden verse las crestas traqueoesofágicas y la formación del tabique traqueoesofágico, lo que divide el intestino anterior en el esófago y la tráquea con las yemas pulmonares. (Fuente: Sadler, 2012).

En el caso de los rumiantes y suidos aparecerá una yema accesoria que dará lugar a un bronquio traqueal (*Bronchus trachealis*) en el lado derecho (Köning et al., 2008).

En la oveja el divertículo respiratorio aparece a los 17 días de gestación, el esbozo pulmonar está presente a los 19 días y es lobulado a los 20. El tubo laringotraqueal es patente a los 21 días y la laringe se desarrolla durante los 10 días siguientes. Los bronquios lobares, rodeados por una densa capa de mesénquima, aparecen el día 22, los segmentarios el día 25. Durante este periodo de tiempo el embrión crece de 4 a 12 mm (Noden y De Lahunta, 1990).

La medición del conjunto de modificaciones que acompañan al aumento del peso desde la concepción hasta el estado adulto es algo complicada y muy variable. Se puede realizar hoy día gracias a técnicas como escáneres, tomografía, marcadores, o como se han adquirido en el pasado casi todos los conocimientos

de embriología, mediante el sacrificio seriado de corderos de la misma raza, pesando cada uno de sus componentes y expresando dicho peso en porcentaje respecto al peso total del animal. Mediante este procedimiento sabemos que el porcentaje de pulmón más tráquea de los corderos va disminuyendo durante la vida fetal y continúa reduciéndose tras el nacimiento (López, 2009). Durante la etapa fetal, a los 84 días, el porcentaje de tráquea más pulmón es de 4,35% del peso total, a los 112 días: 3,98% y a los 140 días: 3,19%. Tras el parto, a los 62 días es del 1,23%, a los 112 días es 1,04%, a los 200 días: 0,76% y en el día 332 es de 0,75% (Wallace, 1948). Por supuesto que el peso de estos componentes aumenta, pero su porcentaje respecto al todo disminuye debido a que su tasa individual de crecimiento es inferior a la tasa de crecimiento del animal.

### **3.3.2. Estructuras anatómicas del cuello**

La región del cuello es un nexo entre los órganos ubicados en la cabeza y aquellos que se encuentran en la cavidad torácica. El cuello se extiende desde el espacio retro mandibular y la articulación atlanto-occipital hasta la entrada del tórax. Su estructura anatómica es compleja, pues además de las vértebras cervicales, músculos y piel, que en las razas productoras de lana dispone de grandes pliegues, se encuentran otra serie de elementos anatómicos como: bolsas ligamentosas, aponeurosis y celdas musculares, esófago, tráquea, tiroides y paratiroides, timo, vasos y nervios.

Para este trabajo, lo que nos interesa es describir la anatomía de la región ventral del cuello de la oveja, localizando la posición de la tráquea a lo largo de toda su extensión y la relación con las estructuras que la rodean (imagen 1). Situada ventralmente respecto a las vértebras cervicales, la tráquea, se relaciona dorsalmente con el músculo largo del cuello, lateralmente con las arterias carótidas comunes, las yugulares, los troncos vagosimpáticos, los nervios laríngeos y los troncos linfáticos.



Imagen 1: Vista de la tráquea tras retirar los músculos que la recubren en una oveja.

La tráquea recorre toda la región ventral del cuello y se extiende desde la laringe hasta su entrada en la cavidad torácica, donde se sitúa en el mediastino craneal. Está acompañada en todo su trayecto por el esófago, con el cual está en contacto directo. El esófago va dorsal a la tráquea hasta la cuarta vértebra cervical, allí pasa a la izquierda, hasta la sexta vértebra cervical, a partir de la cual se hace otra vez dorsal hasta la entrada del tórax.

La tráquea en toda su longitud está revestida por una capa espesa de tejido conectivo laxo que forma una vaina propia que le permite gran movilidad. Esta vaina está delimitada en la zona ventral por la lámina pretraqueal y en la zona dorsal por la lámina prevertebral. La tráquea se halla en contacto con la mayor parte de los músculos de la región cervical ventral, que de esta manera vienen a modelarse en torno a ella formando una cubierta carnosa casi completa (Ghezzi, 2004). Esto varía mucho en cada especie.

La primera estructura que nos encontramos al incidir en la piel del cuello de la oveja, colocada en posición de decúbito supino, es el músculo esternotiroideo y, debajo de él, el esternohioideo. En los laterales se encuentra el paquete carotídeo.

## Revisión bibliográfica

---

La carótida se encuentra aproximadamente a unos 23 mm respecto a la línea media en todos sus segmentos y presenta un diámetro promedio de 5,5 mm. Otra estructura de interés es la vena yugular, que se localiza también lateralmente, a unos 34,6 mm de promedio de la zona media en toda su longitud y posee un diámetro aproximado de 9,4 mm, mayor que la arteria carótida (Alonso et al., 2011).

La posición de la tráquea con respecto a la línea media del cuello es central en la totalidad de los segmentos. El esófago, por su parte, presenta una posición central ligeramente a la izquierda, con un diámetro latero-lateral promedio general de 19,9 mm, con un rango que varía entre 14 y 25 mm (Alonso et al., 2011).

Respecto a los músculos cervicales ventrales presentes en el cuello, el esternohioideo y esternotiroideo se dirigen lateralmente a la tráquea a lo largo del segmento comprendido entre la segunda y tercera vértebras cervicales (C2 y C3) para pasar progresivamente hacia la línea media, terminando en una posición central en los segmentos más bajos. Debido a la lateralización de ambos en la parte más rostral, los anillos traqueales quedan entre ambas porciones debajo de la piel, siendo muy fácil su palpación.

Es de destacar, que en comparación con todas las estructuras que conforman el cuello, la tráquea se encuentra muy superficial en la parte ventral, siendo muy susceptible a situaciones de compresión que pueden acabar en lesiones traqueales como se puede ver en la figura 2 donde se representan 3 secciones transversales del cuello de ovino, una a la altura de la segunda vértebra cervical, otra a nivel de la cuarta vértebra cervical y otra a nivel de la sexta vértebra cervical.

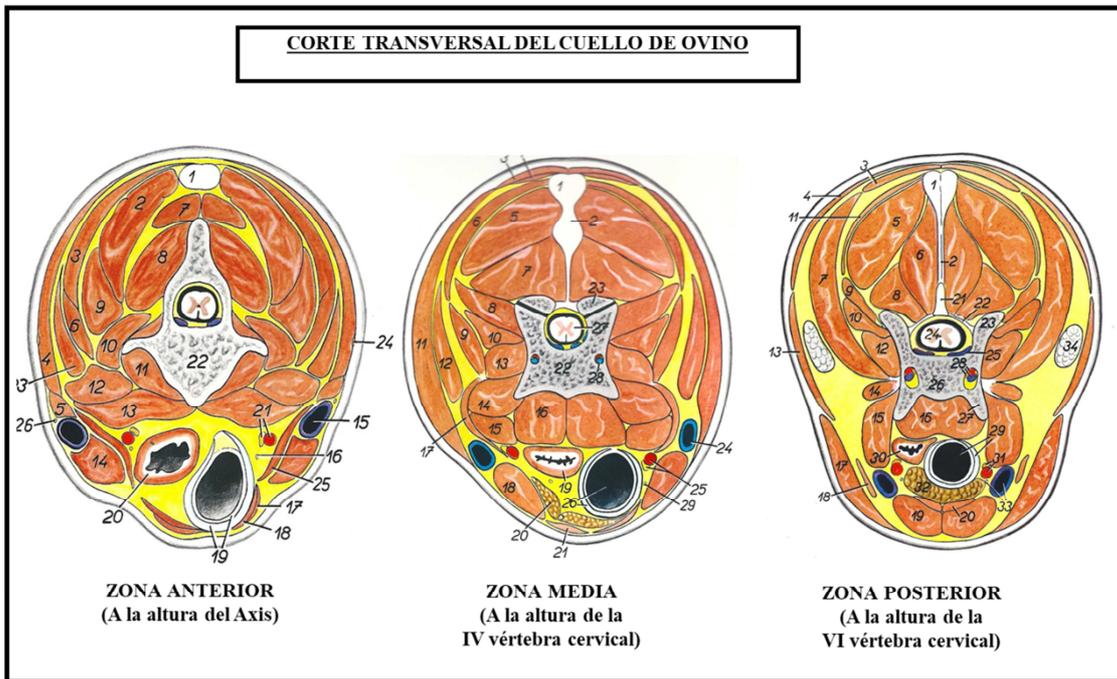


Figura 2: Sección transversal del cuello de cordero a nivel de la segunda, cuarta y sexta vértebras cervicales. (Fuente: Popesko, 1989).

### 3.3.3. Estructuras anatómicas de la tráquea

La tráquea es un tubo impar, flexible y cartilaginoso. Se inicia a partir del cartílago cricoides de la laringe en dirección caudal y es el elemento más largo de las vías respiratorias. Su mitad superior es cervical, mientras que su parte inferior es intratorácica, quedando el último cartílago a nivel del quinto espacio intercostal (Köning et al., 2008). La tráquea presenta una cresta en su base llamada carina traqueal, que separará las aberturas derecha e izquierda de los bronquios principales marcando el final de la tráquea. Antes de la bifurcación principal citada, en los rumiantes y suidos, sale hacia el lado derecho una bifurcación desde la tráquea formando el bronquio traqueal (*Bronchus trachealis*) para la ventilación del lóbulo craneal derecho del pulmón (Köning et al., 2008).

La tráquea está formada por una serie de anillos. Cada anillo traqueal está formado por cuatro tejidos bien definidos a simple vista: cartílago, músculo liso,

## Revisión bibliográfica

---

la mucosa formada por un tejido epitelial cilíndrico y una membrana transversa, constituida por tejido conectivo blando. El número de anillos es variable según las especies. Los anillos están unidos entre sí por los ligamentos intermedios, llamados también, ligamentos anulares. En ocasiones podemos encontrarnos anillos traqueales fusionados entre sí (imagen 2), lo que puede complicar a veces un poco su inspección.



Imagen 2: Anillos traqueales fusionados en forma de “M”

Los cartílagos traqueales, de naturaleza hialina, son incompletos dorsalmente. El músculo liso es el encargado de cerrar el anillo traqueal junto con la membrana transversa. Ambos forman la *pars membranacea* (Costantino et al., 2004).

En un estudio sobre comportamiento mecánico de tráqueas inmaduras de corderos prematuros, se compararon y midieron las secciones transversales de la tráquea a lo largo de su longitud dividiéndola en tres regiones: craneal, medial y caudal. El análisis macroscópico e histológico de estas secciones transversales mostró como los anillos traqueales cambian de forma según nos desplazamos desde la laringe hasta la carina (imagen 3).

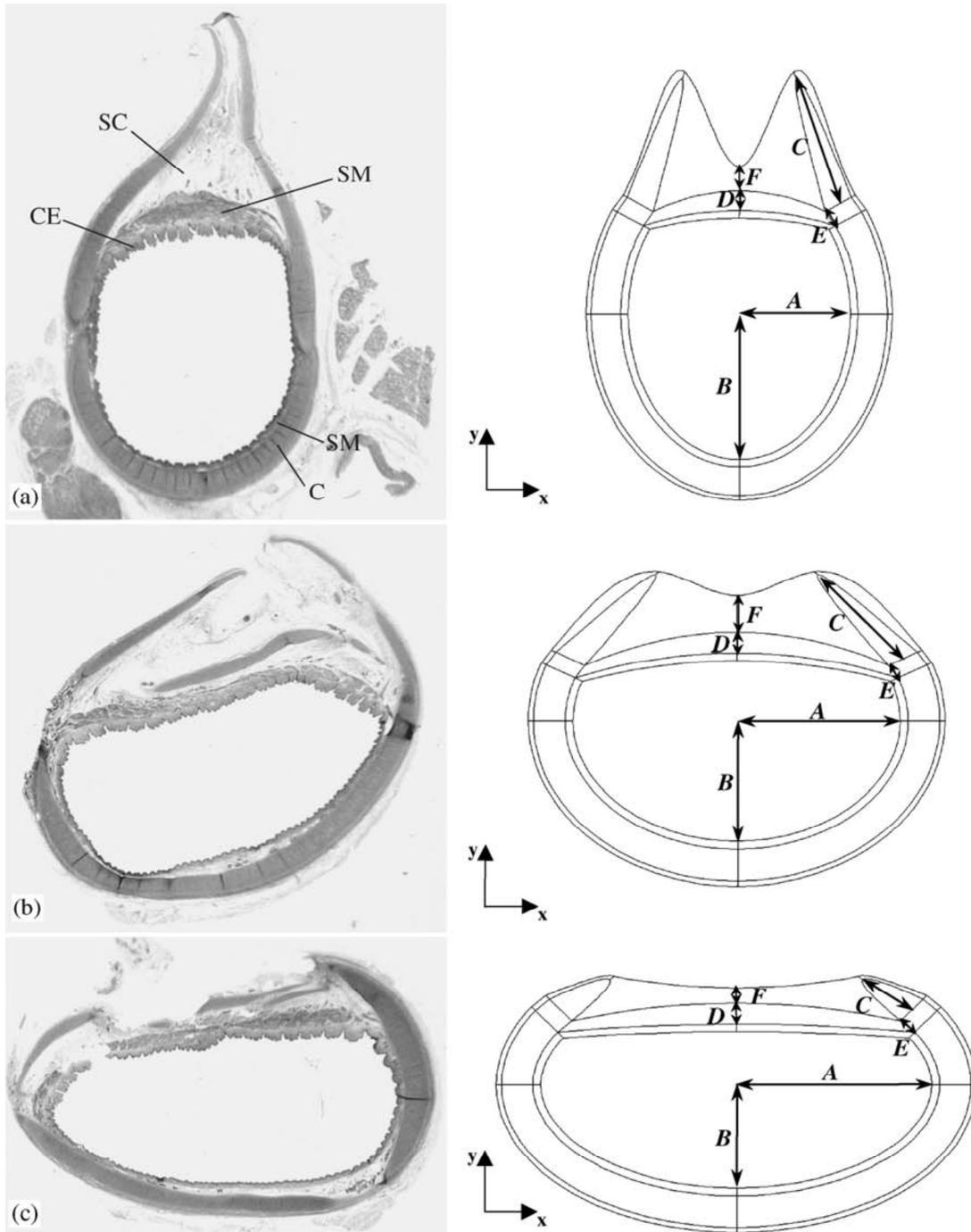


Imagen 3: Secciones transversales de las regiones traqueales craneal (a), media (b) y caudal (c) de tráqueas de corderos: las imágenes histológicas muestran a la izquierda, el músculo liso (SM), el arco cartilaginoso (C), el tejido epitelial cilíndrico (CE) y el tejido conectivo (SC). Las secciones del modelo geométrico en el plano xy se muestran a la derecha, donde se informan los parámetros morfométricos: A, B: semiejes de la luz interna elíptica; C: longitud de las extremidades del arco cartilaginoso; D: espesor del músculo liso en el medio de la región posterior; E: espesor del músculo liso en la inserción con el cartílago; F: espesor mínimo del tejido conectivo en el medio de la región. Fuente: Costantino et al., 2004)

En la región craneal, la longitud de las extremidades del arco cartilaginoso es mayor y forma la cresta típica observada en la tráquea de las ovejas (imagen 3 (a) derecha). La luz del cartílago es más ovalada. A medida que nos desplazamos hacia la carina, los anillos se vuelven más anchos que largos, con una región muscular más grande, la longitud del arco cartilaginoso disminuye, el espesor del músculo liso apenas varía, tanto en su zona central como en su inserción en el cartílago y el tejido conectivo presenta su mayor grosor en la región medial de la tráquea (imagen 3, (b) y (c) derecha). El volumen interno del lumen medido en mm<sup>3</sup> apenas varía en toda la longitud traqueal.

La inervación primaria de la tráquea es colinérgica del nervio vago. La estimulación vagal da como resultado la contracción del músculo liso de las vías respiratorias (Haxhiu-Poskurica et al., 1993; Shaffer et al., 2017).

### **3.3.4. Histología de la tráquea**

El sistema respiratorio participa en diversas funciones de enorme importancia para la viabilidad del organismo, como pueden ser el intercambio gaseoso, proporcionando oxígeno a la sangre y eliminando el dióxido de carbono que produce el organismo, la termorregulación y la humectación del aire inspirado, eliminación de polvo y microorganismos del aire inspirado, elaboración y secreción de IgA (Trigo, 1987), por todo ello, las vías respiratorias de los mamíferos han adquirido una serie de mecanismos y funciones de adaptación que se reflejan en su estructura. Así como una serie de propiedades mecánicas vitales para la vida. Por ello describiremos histológicamente cada una de las estructuras que componen la tráquea.

#### **3.3.4.1. Cartílago traqueal**

El cartílago en general posee una consistencia rígida pero a la vez flexible, es decir, ofrece poca resistencia a la presión recuperando su forma cuando ésta cesa. A esta propiedad se le conoce como “resiliencia”. Esta característica se debe a la

## Revisión bibliográfica

---

presencia y disposición espacial de los componentes amorfos y fibrilares en la matriz (Montalvo, 2010).

El tejido cartilaginoso es una variedad del tejido conjuntivo que está compuesto por unas células llamadas condrocitos y una matriz extracelular muy especializada que es la que dota a este tejido de unas propiedades físicas y funcionales muy características. Más del 95% del volumen del cartílago corresponde a esta matriz extracelular. Los condrocitos que sólo suponen el 3-5%, son escasos pero vitales para el mantenimiento y producción de la matriz. Se localizan dentro de dicha matriz, en unos espacios denominados lagunas o condroplastos (Ross y Paulina, 2013).

Según las características de la matriz, el tejido cartilaginoso se puede diferenciar en tres tipos, que presentan distinto aspecto y diferentes propiedades mecánicas. El cartílago traqueal es del tipo cartílago hialino, que tiene un aspecto vítreo en el estado vivo, de ahí proviene el calificativo de hialino, del griego “υαλος” (*hyalos*) que significa vidrio (Ross y Paulina, 2013).

- La matriz del cartílago hialino es producida por los condrocitos y contiene tres clases principales de moléculas:

-Moléculas de colágeno: ésta es la proteína principal de la matriz. Dentro de la composición molecular del cartílago supone el 15% del peso total. En la formación de las fibrillas matriciales participan cuatro tipos de colágenos, siendo el tipo II el más abundante con diferencia (80%). Este tipo de colágeno se caracteriza por repeticiones ininterrumpidas de glicina-prolina-hidroxiprolina que se aglomeran para formar fibrillas.

-Proteoglucanos: los glucosaminoglucanos (GAG) circundantes son los responsables de dar ese aspecto vítreo homogéneo a la matriz (Gartner et al., 2015). Los tres GAG principales son: hialuronano, condroitin sulfato y queratán sulfato. Estos dos últimos se unen a una proteína central para formar un monómero de proteoglucano llamado agrecano. Los agrecanos, a su vez se unen en una gran cantidad, más de 300, a las moléculas

## Revisión bibliográfica

lineales de hialuronano (figura 3). Esta aglomeración molecular puede llegar a medir hasta 4 mm y es muy importante para conservar la rigidez de la matriz del cartílago (Junqueira et al., 2015). Los agrecanos suponen el 9% de la composición molecular del cartílago. Estas aglomeraciones de proteoglucanos se unen a las fibrillas colágenas y forman el esqueleto molecular de la matriz.

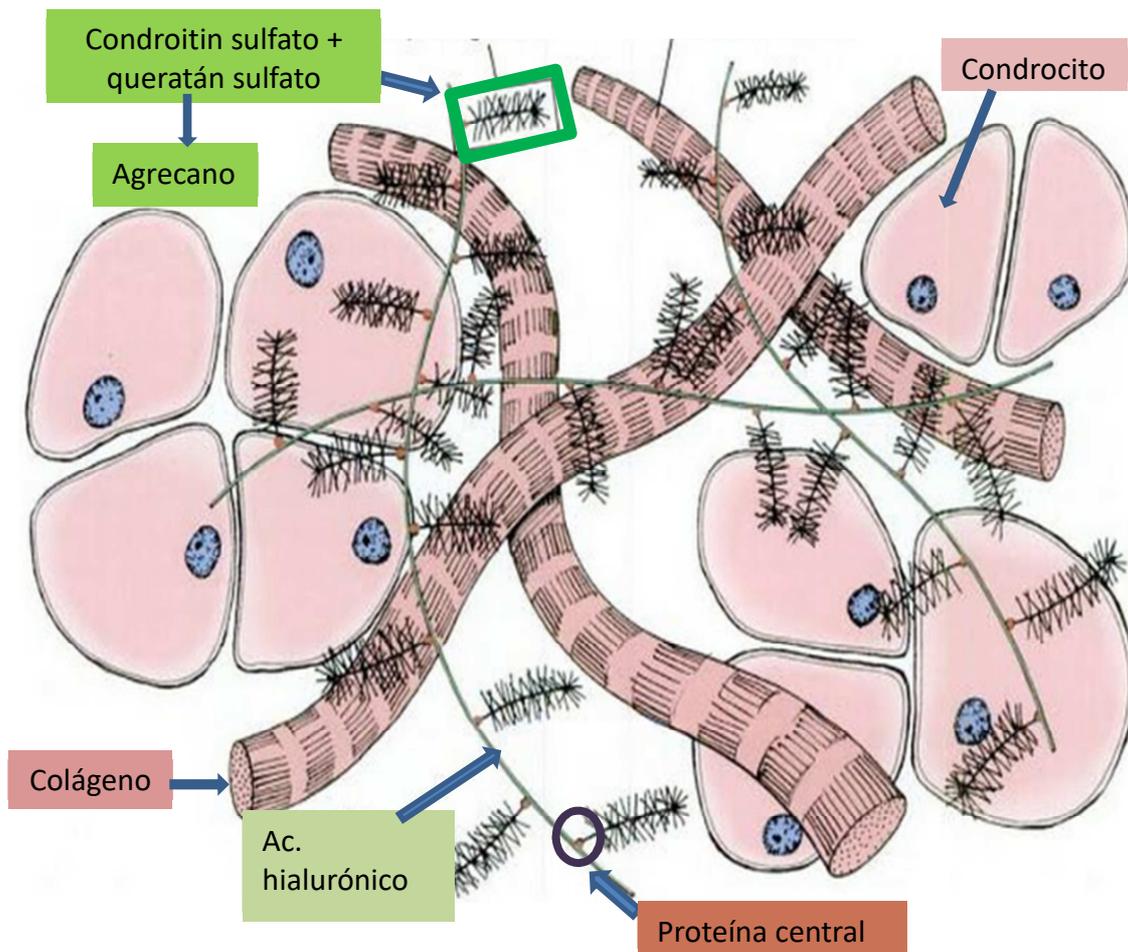


Figura 3: Estructura molecular del cartílago hialino. Se observa la relación que tienen las aglomeraciones de proteoglucanos con respecto a las fibrillas de colágeno tipo II y a los condrocitos en la matriz del cartílago. La molécula de hialuronano que forma aglomeraciones lineales con muchos monómeros de proteoglucanos (agrecanos), está entrelazada con una red de fibrillas colágenas. Los agrecanos están formados por unos 180 glucosaminoglucanos unidos a una proteína central. Esta proteína central tiene una región fijadora al hialuronano por medio de una proteína de enlace. (Fuente: Ross, 2013).

## Revisión bibliográfica

---

-Glucoproteínas multiadhesivas: también llamadas glucoproteínas no ligadas a proteoglucanos actúan sobre las interacciones entre los condrocitos y las moléculas de la matriz. Tienen valor clínico como marcadores del recambio y de la degeneración del cartílago (Ross y Pawlina, 2013).

-Agua: el 60-80% del peso del cartílago corresponde a agua intercelular, la cual está unida a las aglomeraciones de proteoglucanos.

- Células: los condrocitos tienen capacidad de mitosis y contribuyen al crecimiento del cartílago desde dentro. Esto ocurre en los cartílagos jóvenes. Los condrocitos en la periferia tienen forma alargada, pero a medida que profundizamos van redondeándose y aparecen en grupos de hasta ocho células. Son las células encargadas de secretar colágeno, en especial del tipo II, proteoglucanos y glucoproteínas. Los condrocitos se encuentran en lagunas rodeadas de matriz extracelular (imagen 4).
- Pericondrio: es una capa de tejido conjuntivo denso que envuelve todos los cartílagos hialinos a excepción del articular. Es la fuente de condrocitos para el crecimiento. Además, su presencia es vital puesto que se encarga de la nutrición, oxigenación y eliminación de los residuos metabólicos del cartílago ya que contiene vasos sanguíneos y linfáticos, ausentes en el tejido cartilaginoso. En la parte más superficial del pericondrio nos encontramos con gran cantidad de fibras de colágenos tipo I y fibroblastos. Es la capa fibrosa. A medida que nos acercamos al cartílago hay un aumento gradual de células. Es la capa condrógena o celular interna y está formada por condroblastos y células condrógenas. Estas últimas dan origen a los condroblastos que secretarán la matriz cartilaginosa. Las células en posiciones más profundas, es decir, las próximas al cartílago, se multiplican con facilidad por mitosis originando los condrocitos (imagen 4).

En un estudio de Roberts et al., (1998) se describe la organización de colágeno y proteoglicanos en el cartílago traqueal utilizando microscopía óptica y

electrónica que explicaría muy bien muchas de las características mecánicas que posee la tráquea y se describen más adelante. Las fibras de colágeno en la superficie del cartílago están orientadas en planos paralelos a la superficie. En la capa más profunda, las fibras de colágeno se orientan con menos regularidad y con una tendencia circunferencial.

### 3.3.4.2. Submucosa

Es una capa relativamente gruesa formada por tejido conjuntivo laxo y de aspecto similar a la lámina propia, por lo que es difícil diferenciarlas. Está en contacto directo con el pericondrio y presenta glándulas mucosas y seromucosas cuyo producto de secreción se transporta hacia la superficie epitelial a través de conductos excretores (imagen 4). Contiene vasos sanguíneos y los vasos linfáticos mayores de la pared traqueal, así como la inervación. Los canales vasculares submucosos son especialmente extensos en conejos (Hughes, 1965) y ovinos (Hill et al., 1989).

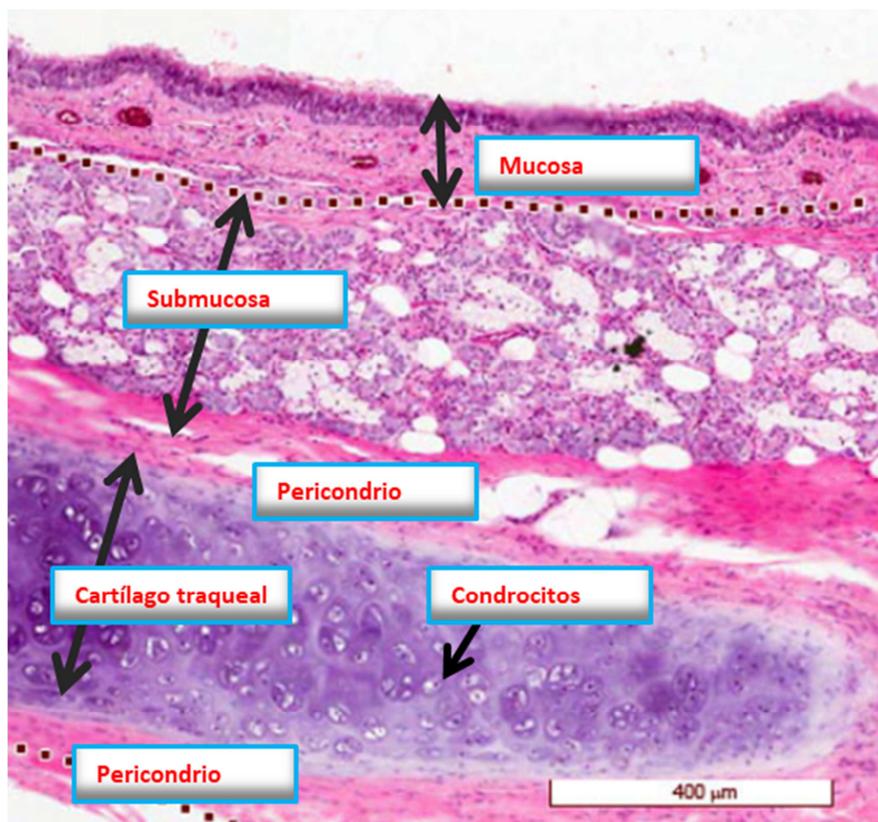


Imagen 4: Corte histológico de un anillo traqueal. (Fuente: <http://wzar.unizar.es/acad/histologia/>)

### **3.3.4.3. Lámina propia y membrana basal**

La lámina propia es una capa fina mal definida que se sitúa entre la submucosa y la mucosa. Está formada por tejido conjuntivo laxo consistente en fibras de colágeno reticulares y abundantes fibras elásticas. Contiene un lecho capilar muy extenso, gran cantidad de células, entre las que destacan por su abundancia los linfocitos, aunque también se encuentran plasmocitos, mastocitos, eosinófilos y fibroblastos.

La membrana basal consiste en fibras de colágeno muy juntas ubicadas justo debajo de la lámina propia epitelial. Desde el punto de vista estructural se puede considerar que es parte de la lámina propia. En los fumadores, principalmente en los que poseen tos crónica, esta capa suele ser considerablemente más gruesa, lo que denota una respuesta inflamatoria de la mucosa (Ross y Pawlina, 2013).

### **3.3.4.4. Mucosa**

Debido a que muchas de las partículas que se asientan en las superficies de las vías respiratorias son infecciosas, las vías respiratorias han desarrollado mecanismos de defensa innata que protegen constantemente dichas vías contra infecciones bacterianas y de otro tipo. Por ello el aclaramiento mecánico del moco se considera el principal mecanismo de defensa innato de las vías respiratorias. La mucosa del sistema respiratorio es una interfaz entre el medio interno y el aire (medio externo) y protege al organismo de las impurezas del aire. Por ello la composición e integridad del epitelio es vital.

En general, la tráquea está revestida con epitelio cilíndrico pseudoestratificado. Es decir, los núcleos de las células forman dos o más filas y todas las células epiteliales tienen contacto directo con la membrana basal, pero no todas las células se extienden a la luz de las vías respiratorias, dando la apariencia histológica de múltiples capas celulares. La composición celular y el grosor de este revestimiento varían con la composición a lo largo de la tráquea y de todo el sistema de conducción del aparato respiratorio, y también entre especies. De este

## Revisión bibliográfica

---

modo podemos ver que el epitelio traqueobronquial varía desde pseudoestratificado columnar alto en la tráquea, a simple cuboidal bajo en los bronquiolos, hasta el epitelio escamoso simple de las bolsas alveolares en los bronquiolos respiratorios (Reynolds et al., 2015).

El epitelio de la vía aérea desempeña un papel importante en la modulación de la función del músculo liso (Shaffer et al., 2017). Estudios de vías aéreas de animales adultos han demostrado que el epitelio de las vías respiratorias genera factores relajantes y contráctiles que modulan el tono del músculo liso subyacente (Cuss y Barnes, 1987; Stuart-Smith y VanHoutte, 1988).

La abundancia de las células epiteliales superficiales, así como la altura epitelial varía en la porción de la vía aérea (generación) en la que nos encontremos y entre especies. En general, existe una correlación positiva entre el tamaño del animal y la altura del epitelio y se encuentra una correlación negativa entre el tamaño del animal y el número de células según la generación de la vía aérea (Reynolds et al., 2015).

En general, las células epiteliales las podemos clasificar como ciliadas y no ciliadas, y estas últimas, a su vez podemos subdividirlas en células secretoras y no secretoras. La población de células no secretoras incluye los tipos de células basales y mioepiteliales. Vamos a analizar dichas células en la especie ovina y las compararemos con las de otras especies en el siguiente apartado.

- Células ciliadas: se extienden por todo el grosor del epitelio y su altura, que corresponde a la altura epitelial, en los ovinos es de unos 41 a 57  $\mu\text{m}$  (Evans et al., 1989). Las células ciliadas son muy maleables y adaptan su forma a la de las células vecinas. Actúan como “barredoras”, ya que ejercen como un mecanismo protector muy importante para la eliminación de pequeñas partículas inhaladas. La superficie apical de las células ciliadas contiene cilios y microvellosidades, que se proyectan hacia la luz de la vía aérea. El número de cilios y microvellosidades por célula varían y la longitud también. Este tipo de células se encuentra entre el 30% y el 50% de la población epitelial

## Revisión bibliográfica

---

total en la tráquea. En ovinos se encuentran en un 31% (Mariassy y Plopper, 1983). La proporción de las células ciliadas va aumentando según vamos avanzando por los bronquios.

- **Células basales:** son unas células relativamente pequeñas cuya forma se ve afectada por la constricción de las vías respiratorias, por lo tanto, pueden ser triangulares o altas en forma de huso. Las células basales entran en contacto con la lámina basal y suponen aproximadamente el 29% de las células epiteliales de la tráquea de los ovinos (Mariassy y Plopper, 1983). Desempeñan un papel importante en la unión de las células columnares, especialmente en las vías respiratorias con epitelio pseudoestratificado alto (Evans et al., 1989), ya que son las únicas células, al menos en la tráquea, que tiene uniones hemidesmosomales a la lámina basal, ocupando el 95% de la superficie de contacto del epitelio con la membrana basal. Sirven como población celular de reserva que mantiene el reemplazo de las células individuales en el epitelio.
- **Células mioepiteliales:** se consideran contráctiles ya que poseen filamentos de actina y miosina y se contraen bajo estímulos nerviosos y hormonales.
- **Células del cepillo:** son unas células epiteliales quimiosensoriales. La superficie basal de la célula establece contacto sináptico con una terminación nerviosa aferente, por lo que se consideran células receptoras. Son relativamente raras y en el ovino representan siempre menos del 1% de la población de células epiteliales (Saunders et al., 2013). Aun así, han sido identificadas en la mayoría de las especies examinadas, incluidos los mamíferos y los vertebrados acuáticos (Breeze y Wheeldon, 1977, Tizzano y Finger, 2013). Este tipo de células ha sido descrito en todos los niveles del tracto respiratorio, incluyendo la tráquea y los bronquios de algunas especies (Tizzano et al., 2006; Tizzano et al., 2011).

- Células mucosas (copa): son unas células secretoras. En el ovino se encuentran en una proporción del 5% de la población celular epitelial de la tráquea (Mariassy y Plopper, 1983). La mayoría de las células mucosas de la tráquea son columnares y solo las células raras tienen la forma clásica de copa.
- Células no ciliadas: son unas células secretoras designadas como células mucosas M3. Estas células constituyen el 36% de las células epiteliales en la tráquea y aproximadamente el 25% en el resto del árbol de las vías respiratorias (Mariassy y Plopper, 1983). A diferencia de lo que ocurre con las células ciliadas, la cantidad de células mucosas aumenta en la irritación crónica de las vías aéreas (Ross y Pawlina, 2013).

### **3.3.4.5. Túnica adventicia**

La adventicia es la capa más externa y alberga los cartílagos traqueales y al músculo traqueal. Está constituida por tejido conjuntivo de variedad laxa que contiene algunos adipocitos, los nervios y los vasos sanguíneos más grandes que inervan e irrigan la pared traqueal, así como los vasos linfáticos mayores. Los haces de fibras de colágeno de la adventicia son los encargados de adherir la tráquea a las estructuras vecinas (Gartner et al., 2015; Shaffer et al., 2017).

### **3.3.4.6. Músculo liso**

El músculo liso cierra la tráquea por su parte dorsal uniendo los extremos libres de los anillos cartilagosos. Está recubierto por una membrana fibrosa transversa y ambos forman la *pars membranacea* en carnívoros, rumiantes y seres humanos. La unión a los anillos cartilagosos se produce por la cara interna de éstos en el pericondrio, menos en el perro. Su control neurológico depende de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático.

### **3.3.4.7. Membrana transversa**

Está formada por tejido conectivo blando y tejido fibroelástico. Cierra la brecha entre los extremos libres de los cartílagos en la cara dorsal de la tráquea junto al musculo liso, como parte de la *pars membranacea*.

### **3.3.4.8. Ligamento anular**

Es un tejido conjuntivo fibroso grueso que se encuentra entre los cartílagos contiguos. Contiene muchas fibras elásticas de orientación, sobre todo, longitudinal para permitir el paso del bolo alimenticio por el esófago y no generar un compromiso de espacio. Es continuo con el pericondrio de los cartílagos.

### **3.3.5. Anatomía comparada**

Estructuralmente, la tráquea de todos los mamíferos, salvo en contadas excepciones, está formada por las mismas estructuras anatómicas, aunque podemos encontrar determinadas variaciones morfométricas entre las distintas especies animales y el ser humano.

La tráquea del ser humano y de los ovinos presenta ciertas similitudes, por ello, se ha utilizado a la oveja como modelo experimental para extrapolar datos obtenidos en el ovino al ser humano. Por ejemplo, la tráquea de los ovinos se utilizó en un estudio para implantar prótesis traqueales hechas de titanio debido a su parecido en tamaño con la tráquea de los seres humanos (Schultz et al., 2007). También se eligió utilizar tráqueas de corderos para estudiar los cambios que se producen en el desarrollo de la estructura traqueal debido a su similitud con la estructura traqueal humana, particularmente en la forma de inserción del músculo traqueal, pues ambas se insertan en el pericondrio interno (Deoras et al., 1991).

### 3.3.5.1. Ovino

- Lugar: desde la 1<sup>a</sup>-2<sup>a</sup> vértebra cervical hasta la 3<sup>a</sup> costilla.
- Longitud: aproximadamente 25cm (Sisson y Grossman, 1959).
- N° de anillos traqueales: de 48 a 60 (Köning y Liebich, 2008).
- Diámetro: calibre medio de 2 cm (Sisson y Grossman, 1959).
- Forma cartílago: anillos aplanados lateralmente (González y Roja, 2010). En la porción laríngea, los extremos libres de los anillos cartilaginosos se superponen, en el tercio medio adquiere la forma de “U” y en el tercio caudal, el extremo izquierdo libre vuelve a superponerse al derecho dorsalmente (Dahme y Weiss, 1989).
- Inserción músculo liso: en el pericondrio interno.
- Peculiaridad: se desprende un bronquio traqueal (*Bronchus trachealis*) antes de su bifurcación para el lóbulo apical del pulmón derecho (Köning y Liebich, 2008).

### 3.3.5.2. Ser humano

- Lugar: la tráquea se extiende desde el borde inferior de la 6<sup>a</sup> vértebra cervical, 5 cm por debajo de la escotadura yugular, hasta la 5<sup>a</sup> vértebra torácica (Serrano, 2012)
- Longitud: varía de unos individuos a otros y hay un claro dimorfismo sexual (Serrano, 2012). En el hombre mide unos 10,5 cm  $\pm$  9,8 mm y en la mujer mide unos 9,83 cm  $\pm$  8,7 mm (Kamel et al., 2009).
- N° de anillos traqueales: 18-20 (Serrano, 2012).
- Diámetro: de 2 a 2,5 cm.
- Forma cartílago: en herradura que ocupa del 70 al 80% de su circunferencia (Serrano, 2012). La tráquea en niños y adultos jóvenes es más o menos circular en sección transversal. En edades

## Revisión bibliográfica

---

posteriores a los 20 años en hombres y 30 en mujeres, la tráquea adopta una forma más ovoide (Breatnach et al., 1984).

- Inserción músculo liso: en el pericondrio interno.
- Peculiaridad: su configuración no es uniforme. La altura de los cartílagos oscila de 2 a 5 mm, variando también la distancia entre ellos (Pasalodos, 2012).

### 3.3.5.3. Bovino

- Lugar: desde la 3<sup>a</sup> vértebra cervical hasta la 3<sup>a</sup> costilla donde se bifurca para ir al lóbulo pulmonar derecho y luego a la altura de la 5<sup>a</sup> costilla para dividirse en los bronquiolos principales (Sisson y Grossman, 1959).
- Longitud: aproximadamente 65 cm (Sisson y Grossman, 1959).
- N° de anillos traqueales: de 48 a 60 (Köning y Liebich, 2008).
- Diámetro: calibre relativamente pequeño, anchura de unos 4 cm y altura de unos 5 cm (Sisson y Grossman, 1959).
- Forma cartílago: la sección transversal es elíptica (Dahme y Weiss, 1989). Los anillos cartilaginosos están comprimidos lateralmente y los extremos libres de los cartílagos están dirigidos dorsalmente (González y Roja, 2010) (imagen 5 B).
- Inserción músculo liso: en el pericondrio interno.
- Peculiaridad: se desprende un bronquio traqueal (*Bronchus trachealis*) antes de su bifurcación para el lóbulo apical del pulmón derecho (Köning y Liebich, 2008).

### 3.3.5.4. Equino

- Lugar: se bifurca a nivel de la 5<sup>a</sup> costilla o del 5<sup>o</sup> espacio intercostal (Sisson y Grossman, 1959).
- Longitud: aproximadamente 75-80 cm (Sisson y Grossman, 1959).

## Revisión bibliográfica

---

- N° de anillos traqueales: 50-70 (Sisson y Grossman, 1959).
- Diámetro: calibre medio de 5-6 cm, pero en la mayor parte del cuello el diámetro transversal es mayor y el dorsoventral menor (Sisson y Grossman, 1959).
- Forma cartílago: aproximadamente cilíndrica, pero su porción cervical está en su mayor parte comprimida dorsoventralmente por el contacto con el músculo largo del cuello, por lo que su cara dorsal es aplanada (Sisson y Grossman, 1959). En la porción cervical las extremidades libres del cartílago cabalgan, están ligeramente superpuestas (González y Roja, 2010), mientras en la porción torácica no llegan a juntarse (imagen 5 A).
- Inserción músculo liso: se sitúa entre los extremos cartilaginosos de los anillos traqueales. Antes de la bifurcación se sitúan también entre los extremos libres de los anillos cartilaginosos. Las placas de cartílago se disponen como las tejas de un tejado (Dahme y Weiss, 1989).

### 3.3.5.5. Suido

- Lugar: va desde la laringe, a la altura de las vértebras cervicales 4<sup>a</sup>-5<sup>a</sup> hasta la 5<sup>a</sup> vértebra torácica.
- Longitud: aproximadamente 15-20 cm (Sisson y Grossman, 1959).
- N° de anillos traqueales: de 32-35 (Sisson y Grossman, 1959).
- Forma cartílago: los anillos se superponen dorsalmente, cabalgan entre sí formando anillos completos. Están algo deprimidos en sentido dorsal, excepto en la porción terminal, cuya sección transversal es circular (Sisson y Grossman, 1959; González y Roja, 2010) (imagen 5 D)
- Inserción músculo liso: cara interna del pericondrio.

## Revisión bibliográfica

---

- Peculiaridad: se desprende un bronquio traqueal (*Bronchus trachealis*) antes de su bifurcación para el lóbulo apical del pulmón derecho (Köning y Liebich, 2008).

### 3.3.5.6. Canino

- Lugar: se inicia en mitad del axis hasta las vértebras torácicas 4ª y 5ª (Miller et al., 1997).
- Longitud: varía mucho entre las distintas razas.
- N° de anillos traqueales: 40-45 (Sisson y Grossman, 1959).
- Diámetro: varía mucho entre las distintas razas.
- Forma cartílago: presenta una sección transversal prácticamente circular en sus extremos, pero la parte intermedia está algo aplanada dorsalmente (Sisson y Grossman, 1959) (imagen 5 C).
- Inserción músculo liso: se inserta en la superficie externa de los cartílagos traqueales a cierta distancia lateral a sus puntas. Su contracción puede hacer que los anillos se unan, incluso que se superpongan (Slatter, 1995).

### 3.3.5.7. Conejo

- Longitud: la longitud del cuello del conejo respecto al resto del cuerpo es mayor que la del humano, por lo que su longitud también es mayor, unos 7 cm (Serrano, 2012).
- N° de anillos traqueales: varía desde 45 hasta 60 (Serrano, 2012).
- Diámetro: 5mm (conejo de 6 meses de edad) (Park et al., 2015).
- Forma cartílago: los anillos tienen forma de “C” muy abierta, de forma que la parte dorsal de la tráquea es solo pared membranosa (Serrano, 2012).
- Inserción músculo liso: cara interna del pericondrio.

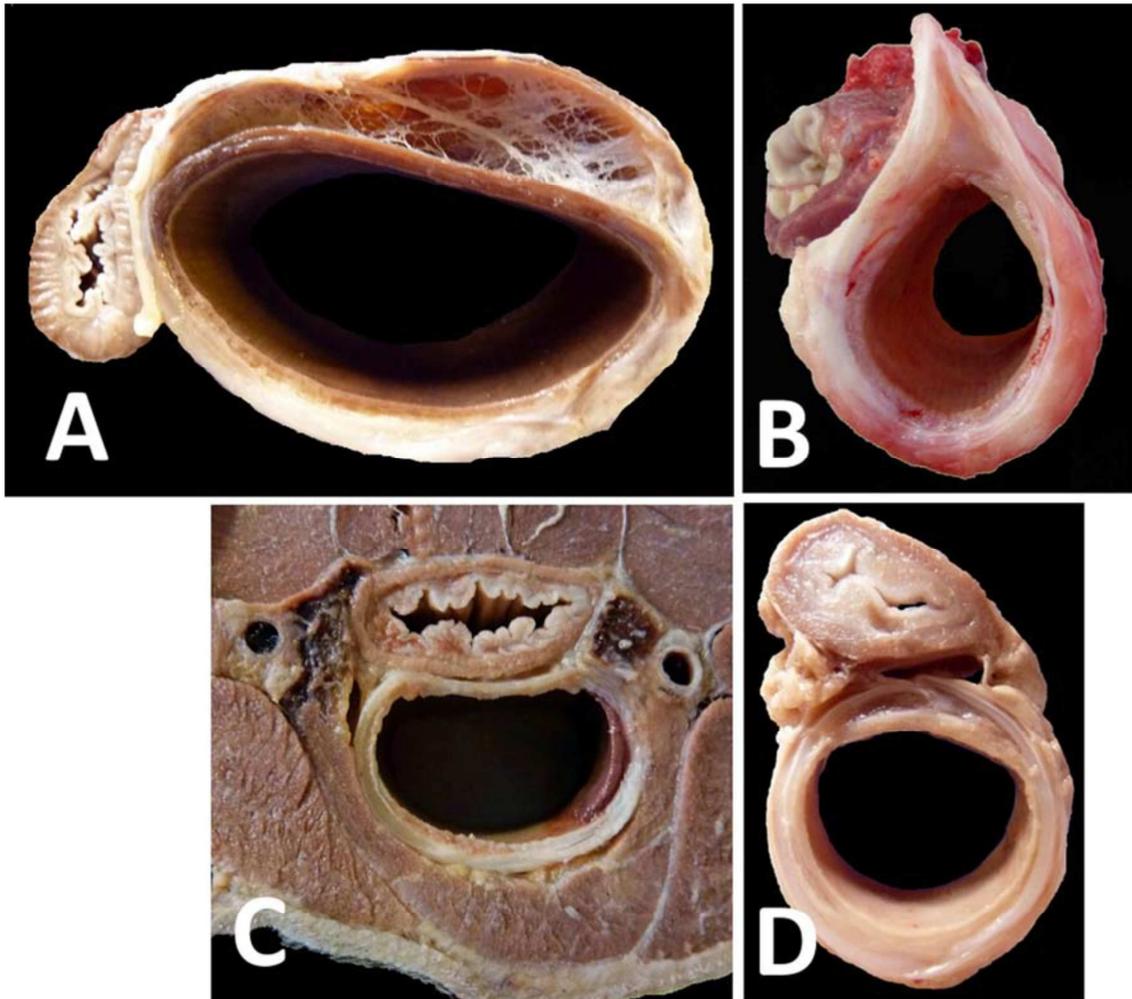


Imagen 5: Sección de la tráquea de équido (A), Rumiante (B), carnívoro (C) y suido (D).  
(Fuente: González y Roja, 2010).

Las células epiteliales que recubren la mucosa traqueal varían mucho entre las distintas especies en cuanto a cantidad. En el tabla 1 se presenta una comparativa de las distintas células epiteliales que tapizan la mucosa de la tráquea en varios mamíferos.

## Revisión bibliográfica

Tabla 1: Longitud y densidad de las distintas células que tapizan la mucosa traqueal.

	Longitud epitelio de la tráquea	Densidad de población celular (%) del epitelio traqueal				
		Células epiteliales				
		Ciliadas	Basales	De cepillo	Mucosas (copa)	No ciliadas
<b>Ser humano</b> (Pavelka et al., 1976)	43 ± 2	49	33	-	9	9
<b>Ovino</b> (Evans et al., 1989)* (Maryassy y Plopper, 1983)**	41 – 57*	31**	29**	<1**	5**	36**
<b>Bovino</b> (Pavelka et al., 1976)	60 ± 3	42	31	<1	4	23
<b>Equino</b> (Pavelka et al., 1976)	48 ± 3	46	31	-	5	18
<b>Suido</b> (Pavelka et al., 1976)	46 ± 5	43	31	<1	3	23
<b>Lagomorfo</b> (Plopper et al., 1983)	21 ± 1	43	28	raro	1	0

### 3.3.5.8. Aves

Al igual que en los mamíferos, la tráquea aviar conduce el aire desde las fosas nasales y la boca hasta los bronquios mientras se calienta, hidrata y filtra las partículas de materia del gas inspirado. Anatómicamente, sin embargo, existen diferencias significativas entre la tráquea aviar y la tráquea de mamíferos. Los cartílagos traqueales aviares son anillos completos a diferencia de los anillos incompletos en forma de “C” de los mamíferos. En contraposición a los mamíferos, en las aves existen enormes variaciones en la anatomía traqueal que tienen implicaciones significativas para la ventilación. Por ejemplo, los patos emú y rubicundo tienen un divertículo inflable similar a un saco que se abre desde la tráquea y los machos de muchas especies de aves acuáticas tienen una expansión bulbosa traqueal. Algunos pingüinos y petreles tienen una tráquea doble, mientras que otras aves tienen bucles traqueales complejos o espirales.

## Revisión bibliográfica

---

Con sus cuellos relativamente largos, sin mencionar los anillos y espirales traqueales, la tráquea típica de aves es 2,7 veces más larga que la de un mamífero de tamaño comparable, pero también es 1,29 veces más ancha, por lo que la resistencia al flujo de aire a través de la tráquea es similar a la de los mamíferos. El volumen traqueal, por otro lado, es aproximadamente 4,5 veces mayor que el de los mamíferos de tamaño comparable (Reece, 2015).

En el avestruz, la tráquea se extiende desde la laringe hasta la siringe, órgano de la voz de la mayoría de las aves formada por los últimos anillos de la tráquea y por un conjunto de músculos que permite variar el timbre del canto. Se localiza a la altura de la segunda y tercera vértebra torácica. La tráquea presenta un corte transversal comprimido dorso-ventralmente en el tercio superior, redondeándose ventralmente. Está formada aproximadamente por 200 anillos cartilagosos completos con una longitud que puede variar entre 50 a 80 cm (Illanes et al., 2014). A cada lado de la tráquea se ubica un largo y delgado músculo esquelético que se extiende hasta la siringe, el músculo traqueolateral.

En cuanto a la gallina, posee un número menor de anillos traqueales, 108–126. Estos anillos están constituidos por cartílago hialino también y son completos. Una diferencia significativa corresponde al ordenamiento de estos anillos. En la porción media de la tráquea de la gallina, estos anillos se superponen alternadamente (Sisson y Grossman, 1982).

### **3.4. FISILOGIA**

El propósito primario del sistema respiratorio es lograr un intercambio gaseoso efectivo, de manera segura y con un coste de energía aceptable (Lafuente, 2013). La primera etapa del proceso respiratorio consiste en la captación y movimiento o transporte del aire, o cualquier otro tipo de gas en caso de la ventilación mecánica, hacia los pulmones, y una vez allí, se debe realizar el intercambio gaseoso entre el aire alveolar y los capilares sanguíneos. Centrándonos en la parte que nos interesa explicaremos a continuación como se realiza el sistema de conducción tanto de entrada como de salida del aire, especialmente en la zona de la tráquea.

#### **3.4.1. Fisiología de la respiración**

Todo gas se dirige de una zona de alta presión hacia otra de baja presión. Siguiendo este principio físico, todas las estructuras anatómicas que participan en la respiración actúan como un todo para generar un gradiente de presión, bien negativo o positivo. Cuando la glotis está abierta y no hay flujo de aire entre el exterior y el pulmón, la presión de aire en los pulmones, en los alveolos, es de 760 mm Hg, igual a la presión atmosférica que también es de 760 mm Hg. Esto ocurre al final de la inspiración y al inicio de la espiración.

La Ley de Boyle es aplicable a los fenómenos de la inspiración y espiración y sirve para explicar dichos fenómenos. Básicamente, esta ley explica que el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión. A mayor volumen de un contenedor menor presión del gas y viceversa (figura 4).

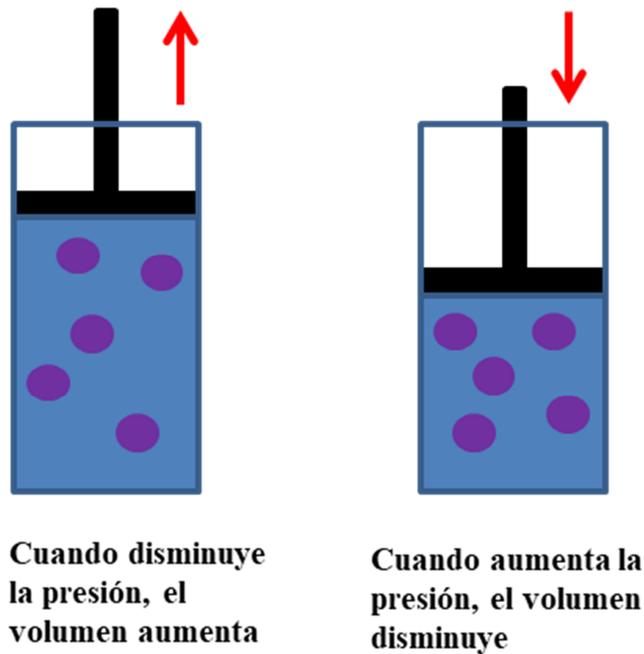


Figura 4: Dibujo que explica la ley de Boyle por la que “La presión que ejerce una fuerza es inversamente proporcional a la masa gaseosa. La temperatura se tiene que mantener constante. Si el volumen aumenta la presión disminuye, y si la presión aumenta el volumen disminuye”.

Al inhalar, en la inspiración, el diafragma se mueve hacia abajo junto con los músculos inspiratorios, que son los músculos intercostales externos, y participan en la respiración moviendo las costillas hacia arriba y afuera. De este modo, aumenta el volumen de la cavidad torácica. Al aumentar el volumen, la presión del aire en la cavidad torácica y los pulmones se reduce, produciéndose el gradiente de presiones necesario para que el aire fluya hacia el interior. Los alveolos son incapaces de expandirse por sí solos. Cuando se expanden, lo realizan de forma pasiva como consecuencia de los músculos inspiratorios, que al contraerse disminuyen la presión y los alveolos se abren al disminuir la presión alveolar. El pulmón, al ser elástico, se distiende fácilmente. En humana, por ejemplo, una respiración normal de alrededor 500 ml requiere una presión de distensión menor a 2,20 mm de Hg (3 cm H<sub>2</sub>O). Por el contrario, un globo de

## Revisión bibliográfica

---

cumpleaños puede necesitar una presión de 30 cm H<sub>2</sub>O para el mismo cambio de volumen. La presión que se necesita para movilizar el gas a través de las vías aéreas es también muy pequeña. Durante una inspiración normal, un flujo aéreo de 1 L/segundo requiere una caída de presión a lo largo de las vías aéreas de menos de 2 cm H<sub>2</sub>O. Un fumador en cambio tiene que generar una presión de 500 cm H<sub>2</sub>O para conseguir el mismo flujo (West, 2005).

La inspiración, en condiciones basales es un proceso activo y requiere un mayor esfuerzo que la espiración (García et al., 1995). Ésta última en cambio, es un proceso pasivo en la mayoría de los animales domésticos, excepto en el perro y en el caballo, que es más activo que pasivo, y la simple relajación de los músculos inspiratorios la desencadena puesto que el pulmón y la caja torácica, al ser elásticos, tienden a recuperar su posición de equilibrio tras su expansión activa durante la inspiración. La espiración activa se produce durante el ejercicio y cuando hay algún proceso patológico. En este caso, los músculos abdominales incrementan la presión abdominal, forzando al diafragma a desplazarse hacia delante, reduciendo el tamaño del tórax. Los músculos intercostales internos tiran de las costillas hacia atrás y hacia dentro disminuyendo también el volumen torácico, de esta forma se aumenta la presión.

La duración de la espiración es ligeramente más larga que la de la inspiración (García et al., 1995).

La frecuencia respiratoria, es decir, el número de ciclos respiratorios por minuto, varía mucho entre las distintas especies. En la tabla 2 podemos apreciar las diferencias entre especies de varios parámetros del sistema respiratorio.

## Revisión bibliográfica

Tabla 2: Frecuencia respiratoria en reposo (FR), volumen de ventilación pulmonar (VVP), volumen pulmonar minuto (VP) y capacidad residual funcional (CRF) de varias especies animales según peso (García et. al., 1995; West, 2005\*).

ESPECIE	PESO VIVO (kg)	FR (resp/min)	VVP (mL/kg)	VP (L/min/kg)	CRF (L)
OVINA	42	19	8,2	0,16	1,350
BOVINA	490	30	7,3	0,22	15
CAPRINA	32	19	9,7	0,18	
EQUINO	475	12	14.1	0.17	18
SUIDO	30	26	9,2	0,24	
CANIDO	22	24	11,4	0,30	0,609
FELINO	2,95	26	11,9	0,30	0,066
LAGOMORFO	2,4	39	6,6	0,26	0,0113
SER HUMANO*	-	15	0,5L (500 ml)	7,5 L 7.500 ml	

La ventilación pulmonar (VP) es la cantidad de aire que entra o sale en cada ciclo respiratorio, es decir, el volumen de ventilación pulmonar (VVP), por la frecuencia respiratoria (FR):

$$VP = VVP \times FR$$

En una oveja, entonces la ventilación pulmonar es de:  $8,2 \text{ (ml/kg)} \times 19 = 155,8 \text{ ml/kg}$ , es decir 6.544 ml o lo que es lo mismo, se mueve una media de 6 litros y medio de aire por minuto a través de las vías respiratorias de los pequeños rumiantes con un peso medio de 42 kg. Esto se conoce como ventilación total. El volumen de aire que entra en el pulmón es levemente mayor porque se capta más

## Revisión bibliográfica

---

oxígeno que el dióxido de carbono cedido (West, 2005). Sin embargo, no todo el aire inhalado alcanza los alveolos y participa en el intercambio gaseoso. De un 30 a un 60% del volumen de ventilación pulmonar se queda en las vías de conducción, denominado espacio anatómico muerto (García et al., 1995). Por lo tanto, de cada 345 ml inhalados ( $6.544 / 19$ ), 104 ml como mínimo permanecen en el espacio anatómico muerto. De todo esto deducimos que el volumen de gas fresco que ingresa en la zona respiratoria en cada minuto es  $(345 - 104) \times 19 = 4.579$  ml/min, es decir, unos 4,6 litros. Esto se llama ventilación alveolar y es de gran importancia ya que representa la cantidad de aire fresco inspirado disponible para el intercambio gaseoso (West, 2005).

Todos estos datos son muy variables puesto que entran en juego una gran cantidad de factores intrínsecos y extrínsecos al individuo y es muy difícil dar datos que abarquen todas las variantes fisiológicas por las que pasa el animal.

La frecuencia respiratoria es un excelente indicador del estado de salud, pero debe interpretarse correctamente porque está sujeta a numerosas variaciones. Además de las diferencias observadas entre las especies, la frecuencia respiratoria puede verse afectada por otros factores, como el tamaño corporal, la edad, el ejercicio, la excitación, la temperatura ambiental, la gestación, el grado de llenado del tracto digestivo y el estado de salud. La gestación y el llenado del tracto digestivo aumentan la frecuencia porque limitan el movimiento del diafragma durante la inspiración. Cuando la expansión de los pulmones está restringida, se mantiene una ventilación adecuada con una mayor frecuencia respiratoria. Por ejemplo, cuando el ganado se acuesta, el rumen empuja contra el diafragma y restringe su movimiento, y la frecuencia respiratoria aumenta. La frecuencia respiratoria generalmente aumenta durante la enfermedad. Por lo tanto, la frecuencia es un determinante útil del estado de salud, pero se debe conocer la frecuencia de una especie en diversas condiciones para que este parámetro se pueda interpretar de manera adecuada (tabla 3). Los valores son significativos solo cuando se obtienen de los animales en reposo.

## Revisión bibliográfica

Tabla 3: Frecuencias respiratorias de varias especies animales en diferentes condiciones (Fuente: Reece, 2015).

ANIMAL	CONDICIÓN	FR Rango	FR media
Caballo	De pie (en reposo)	10-14	12
Vaca lechera	De pie (en reposo)	26-35	29
	Tumbado esternal	24-50	35
Ternero	De pie (52 kg de peso corporal, 3 semanas de edad)	18-22	20
	Acostado (52 kg de peso corporal, 3 semanas de edad)	21-25	22
Cerdo	De pie (23-27 kg de peso corporal)	32-58	40
Perro	Durmiendo (24° C)	18-25	21
	De pie (en reposo)	20-34	24
Gato	Durmiendo	16-25	22
	Acostado, despierto	20-40	31
Oveja	De pie, rumiando, lana de 1.3 cm, 18 ° C	20-34	25
	Misma oveja a 10° C	16-22	19

Respecto a las aves, éstas tienen una frecuencia respiratoria relativamente baja (aproximadamente un tercio de la de los mamíferos). El volumen corriente en las aves es aproximadamente 1,7 veces mayor que el de un mamífero de tamaño comparable, y el gran volumen expansible y el mayor cumplimiento del sistema respiratorio significa que las aves gastan menos energía al respirar en comparación con los mamíferos, por lo que son capaces de superar cualquier limitación impuesta por el espacio muerto traqueal más grande (Reece, 2015).

### 3.4.2. Fisiología de la tráquea

La tráquea, a pesar de su aparente simplicidad, participa en varias funciones vitales. Forma parte del sistema respiratorio con dos funciones bien definidas, una función aérea y otra biomecánica y se le llama vía respiratoria de primera generación. Al ser un conducto permeable al aire, participa durante todo el ciclo respiratorio permitiendo la circulación de aire a través de su luz para la hematosis sanguínea. Es partícipe de la fonación y también forma parte de uno de los tres tiempos de la deglución, concretamente en el segundo, la fase faríngea. Durante esta fase se contraen los músculos constrictores medios de la faringe, elevándose todo el tubo faríngeo, con lo que el diámetro anteroposterior de la faringe aumenta. Esta elevación determina que la laringe suba hacia la base de la lengua y se cierre la epiglotis, siguiéndole en su desplazamiento la tráquea y el esófago (Leiva et al., 2010).

Respecto a su función inmunitaria, es el tejido linfoide bronquial asociado compuesto por los nódulos linfáticos peribronquiales y tejido linfoide de la mucosa y submucosa de la tráquea, el encargado de crear los linfocitos que migran hacia la luz traqueal, que constituyen los centinelas del tracto respiratorio. En contacto con el antígeno, los linfocitos maduros (plasmocitos) secretarán los anticuerpos IgA principalmente, que es la inmunoglobulina que predomina en la tráquea, mientras que en el pulmón existe una mayor concentración de IgG (Trigo, 1987). Esta IgA secretada permanentemente es el primer contacto Ag-Ac a nivel del epitelio traqueal. Otro de los mecanismos de defensa del sistema respiratorio, esta vez físico, está formado por unas diminutas proyecciones musculares filamentosas (cilios) situadas sobre las células que recubren las vías respiratorias. Éstas, a su vez, están recubiertas por una capa líquida de mucosidad que es propulsada por los cilios, que se agitan más de mil veces por minuto y desplazan hacia arriba la mucosidad que recubre la tráquea a una velocidad aproximada de 0,5-1 cm por minuto. Las partículas y los microorganismos patógenos que quedan atrapados en esta capa de mucosidad son expulsados al toser o arrastrados hasta la boca y deglutidos (Lechtzin, 2018).

## Revisión bibliográfica

---

El flujo de aire que entra en el sistema respiratorio no sólo depende del gradiente de presiones como hemos explicado antes, sino que también se ve influenciado por la resistencia que oponen las vías respiratorias a dicho flujo, el calibre y las ramificaciones de las mismas. En el aparato respiratorio se producen básicamente dos tipos de flujo de aire, un flujo laminar y un flujo turbulento, y es éste último el que se da en la tráquea. Se caracteriza por ser un flujo de aire desorganizado, que puede producir ruido durante la inspiración y espiración. Cuanto más rápida y más profunda sea la respiración, más ruido se produce por las turbulencias. En las pequeñas vía aéreas periféricas, donde el aire fluye más lentamente el flujo es laminar. Este flujo es silencioso, ya que las capas de las moléculas de aire se deslizan unas sobre otras (Gal et al., 2007). El flujo es turbulento cuando el número de Reynolds es de 2000.

Como explicaremos más adelante, la ecuación de Hagen-Poiseuille describe los factores que afectan al flujo de aire. La mayor parte de la resistencia de las vías respiratorias es aportada por la nariz, la faringe y las vías respiratorias más grandes como la tráquea. En las vías respiratorias más anchas y en los puntos de ramificación, el flujo de aire es turbulento y la energía se disipa a medida que se forman remolinos debido a dichas turbulencias. La probabilidad de flujo turbulento aumenta en el ejercicio. Las vías respiratorias periféricas, por su parte, contribuyen poco a la resistencia general de las vías, a no ser que se vean afectadas por alguna enfermedad (Barrow y Pandit, 2014).

Hay que tener presente también que durante la inspiración, el flujo de aire entra en la tráquea con fuerza a través de la laringe, como un chorro, y tiene que pasar a través de una constricción como es la glotis. Justo después de pasar esa zona de menor calibre, el flujo de aire en la tráquea se caracteriza por la ruptura de ese chorro y el impacto de los vórtices de dicho chorro contra las paredes de la tráquea situadas inmediatamente después, es decir, se produce una turbulencia y un flujo secundario debido a la curvatura del tubo tras la glotis. Las estructuras de flujo típicas se han descrito ampliamente en la bibliografía para las tráqueas sanas. Sin embargo, la tráquea puede verse afectada por una serie de patologías

que influyen aún más en el entorno de flujo causando constricción, desviación o una combinación de ambos en otras zonas (Bates, 2014) y que trataremos a continuación.

### **3.4.3. Propiedades físicas y mecánicas de la tráquea**

El rendimiento fisiológico de la tráquea depende en gran medida de su comportamiento mecánico, de su capacidad de deformación y, por lo tanto, de las propiedades mecánicas de sus componentes. Gracias a estas propiedades, la tráquea debe ser capaz de adaptarse para regular la presión durante las diferentes condiciones de ventilación, como respirar, estornudar o toser. Los principales componentes que participan en esta adaptación son los anillos cartilagosos y la membrana muscular con su músculo liso que discurre longitudinal y dorsalmente a la tráquea. Las fibras musculares longitudinales lisas entre los extremos de los anillos del cartílago proporcionan suficiente flexibilidad y movilidad para garantizar la estabilidad de la tráquea incluso durante la rotación, flexión y extensión del cuello (Park et al., 2015). El papel principal de las estructuras cartilagosas traqueales es mantener la tráquea abierta a pesar de la presión inter-torácica durante los movimientos respiratorios. La contracción del músculo liso y la presión transmural generan tensiones de flexión y extensión en el cartílago y lo colapsan para regular el flujo de aire y modular el diámetro de la vía aérea. En una respiración normal, el movimiento de la membrana muscular aumenta la sección de la tráquea durante la inhalación y disminuirá durante la espiración, contribuyendo al equilibrio de presiones dentro de los pulmones (Malve et al., 2011).

Las propiedades viscoelásticas de la tráquea son primordiales para la respuesta de los tejidos a las cargas en cursos de corta duración, como es la tos. Se sabe que los elementos microestructurales de los tejidos, incluidas las fibras de colágeno, los proteoglicanos y el contenido de agua, contribuyen a la viscoelasticidad de los tejidos biológicos. La alta densidad de contenido de los

## Revisión bibliográfica

---

proteoglicanos, genera una presión osmótica de hinchamiento en el tejido que está equilibrada con la tensión en las fibras de colágeno, y la redistribución reversible del agua, confiriendo al tejido sus propiedades elásticas (Rains et al., 1992).

Los datos experimentales muestran que el cartílago traqueal es un material no lineal que muestra una mayor resistencia a la compresión que a la tensión (Teng et al., 2008). En un estudio sobre las propiedades viscoelásticas del cartílago traqueal, el músculo liso y el tejido conectivo que une los cartílagos, llevado a cabo por Safshekan et al., (2017), mediante pruebas de relajación de estrés, determinaron si cada tejido es viscoelástico de forma lineal o no lineal. Obtuvieron como resultado que la magnitud de la tasa de relajación al estrés para todos los tejidos disminuyó a medida que aumentaba el nivel de tensión, lo que era indicativo de la viscoelasticidad no lineal de los tejidos hasta cierto punto; es decir, que la velocidad de relajación disminuyó al aumentar la amplitud de la deformación. La menor no linealidad, se observó en el caso del tejido conectivo, que casi podría considerarse como material viscoelástico lineal.

Para entender mejor la no linealidad de un material y conocer así mejor sus consecuencias podemos explicar que los materiales presentan dos comportamientos básicos no lineales (figura 5) (Gil, 1997):

-Comportamiento de endurecimiento: cuando el material supera un cierto estado tensional límite empieza a perder rigidez, aunque pueda seguir soportando incrementos de carga. En este caso la curva de comportamiento muestra que a medida que aumenta la tensión las deformaciones suelen crecer más deprisa que el estado tensional. Se asocia a modelos de plasticidad (figura 5 a).

-Comportamiento por ablandamiento: al superar cierto estado tensional límite el material pierde rigidez y no puede seguir soportando incrementos de carga. En este caso, el material se va descargando, aunque su deformación sigue aumentando. Se asocia a modelos de formación de fisuras (figura 5 b).

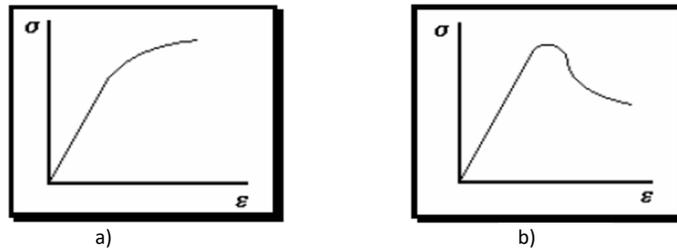


Figura 5: a) Endurecimiento, b) Ablandamiento

Un comportamiento lineal se produce cuando la deformación de un material es proporcional al esfuerzo al que está siendo sometido, si no es lineal, ocurre lo contrario, la deformación iría aumentando en forma exponencial de acuerdo al esfuerzo que se le aplica.

En el comportamiento no lineal los materiales al deformarse lo hacen directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada y por cada incremento de fuerza se incrementará proporcionalmente la deformación del material, pero hay un punto en todo material en el que al aplicarle más fuerza, el material se deforma más allá de sus proporciones, y por cada incremento de fuerza se deformará mucho más, este es un estado peligroso para los materiales estructurales y siempre se procura diseñar en el límite elástico, es decir en donde tiene el comportamiento lineal, ya que pasado este límite comienza el límite plástico, y es cuando con poca carga se tienen grandes deformaciones, se llega a una resistencia última y luego falla. El comportamiento no lineal sería precisamente éste último.

Durante la flexión fisiológica del cartílago traqueal, su región superficial, que está por encima del eje neutro y está enriquecida con fibras de colágeno alineadas paralelas a la superficie, experimenta tensión y la respuesta de tracción se asigna principalmente a las fibras de colágeno. La resistencia a la compresión es proporcionada por la zona media, que está enriquecida con proteoglicanos. El contenido y la organización de los colágenos disminuyen desde la superficie

hasta las capas más profundas y, de forma consistente, la rigidez a la tracción también disminuye (Roberts et al., 1998; Safshekan et al., 2017).

Una característica del músculo liso es que la rapidez con la que cambia de tono depende de sus propiedades viscoelásticas. El músculo liso de las vías respiratorias es lento en relación con el músculo estriado y las frecuencias de respiración. Su función parece ser que es asumir un estado de contracción mientras continúan los eventos dinámicos de la respiración, en lugar de participar activamente en el evento de la respiración en sí (Koslo et al., 1986).

Otra propiedad física muy importante de la tráquea es su capacidad de extensión. El extremo inferior y la bifurcación de la tráquea se desplazan hacia abajo durante la inspiración. Según mediciones de Harris, (1959), en fisiología humana, la carina de un adulto joven, en una inspiración profunda, descendió aproximadamente 2,5 cm, es decir, aproximadamente un 20% de la longitud no extendida de la tráquea.

#### **3.4.4. Efectos de la pérdida de la geometría traqueal**

La tráquea aun siendo el segmento más largo de la vía aérea superior es la “zona olvidada” del diagnóstico diferencial, ya que los procesos patológicos que involucran esta porción pueden no recibir una consideración clínica relevante en los trastornos que presentan síntomas y signos respiratorios. Las manifestaciones clínicas de los trastornos traqueales están determinadas por la extensión y la ubicación de las anomalías. La obstrucción traqueal puede poner en peligro la vida de forma aguda ya que, a diferencia de las vías respiratorias inferiores, no tiene ventilación colateral. La obstrucción aguda es una afección potencialmente mortal y generalmente se presenta con un estridor inspiratorio que se escucha mejor en el cuello y que cursa con tos y disnea. Además, la estenosis traqueobronquial puede afectar al aclaramiento de las secreciones y aumentar el riesgo de infecciones respiratorias (Al-Qadi et al., 2013).

## Revisión bibliográfica

---

Los cambios en las propiedades mecánicas de la tráquea pueden agravar la función pulmonar ya alterada en las enfermedades pulmonares obstructivas. Por ejemplo, el debilitamiento de las estructuras de la pared de las vías respiratorias grandes se ha encontrado en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, y la geometría y elasticidad alteradas del cartílago parecen desempeñar un papel en el desarrollo de la traqueomalacia (Teng et al., 2008).

Según Costantino et al., (2004), en un estudio experimental sobre la “conformidad” y colapsabilidad de la tráquea en corderos la oclusión de la luz depende en gran medida de la forma del anillo cartilaginoso y de la longitud del músculo liso. Las regiones media y caudal presentan comportamientos de colapso similares, aunque, la parte caudal muestra una oclusión de la luz mayor y una superficie de contacto interna más ancha, que se debe a la mayor región abierta del anillo cartilaginoso (figura 6). A su vez, con respecto a la porción craneal, las dos extremidades del cartílago se apoyan una contra la otra durante el colapso y aún dejan la luz abierta, cuando se aplica la carga máxima de presión. La región craneal parece ser la menos compatible, mientras que el anillo caudal es el más colapsable.

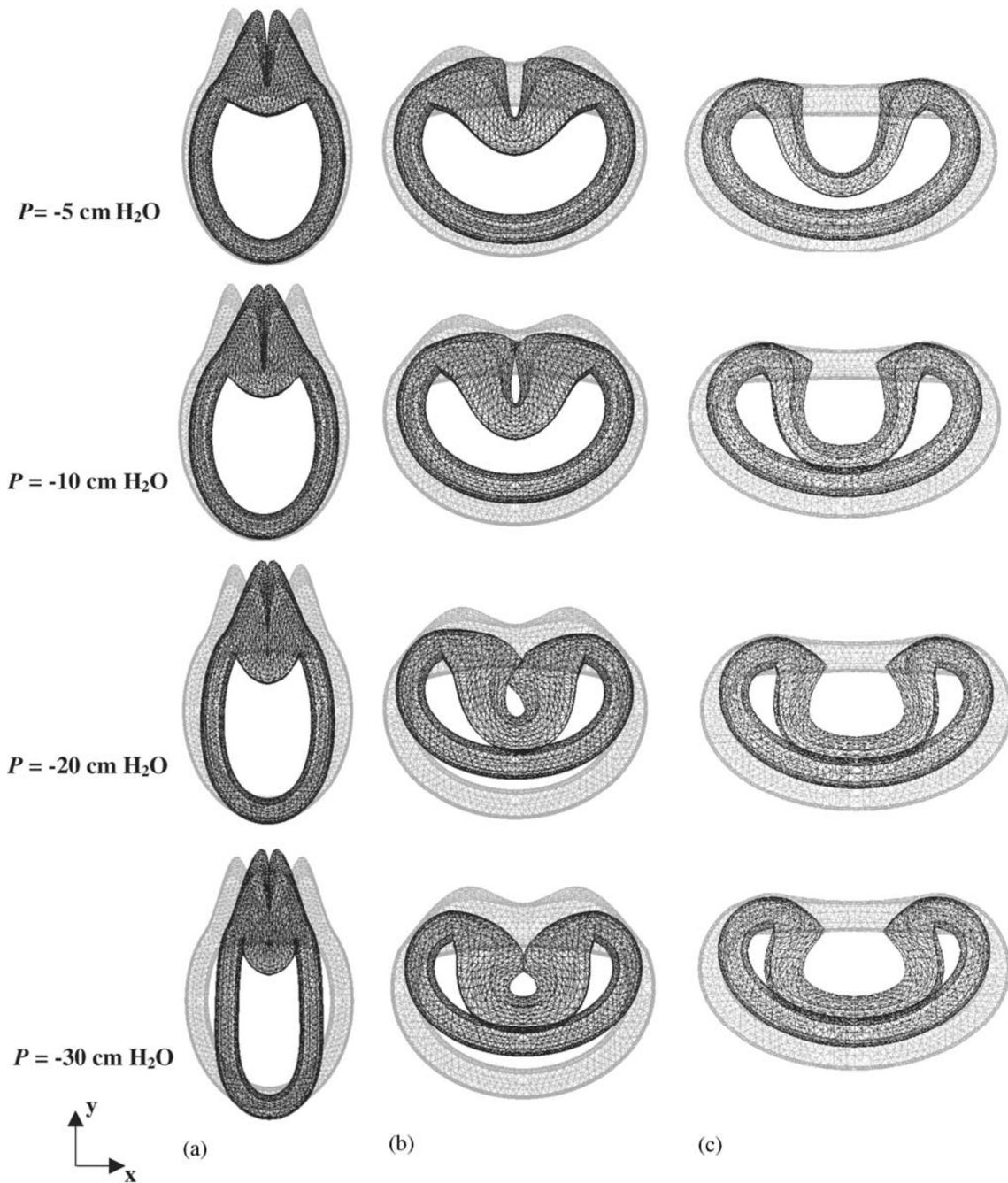


Figura 6: Geometrías deformadas (en negro) y no deformadas (en gris claro) de las tres regiones traqueales simuladas: (a) craneal; (b) medial; (c) caudal sometidas a distintas presiones negativas. Las configuraciones deformadas de los tres anillos simulados muestran que la oclusión de la luz depende en gran medida de la forma del anillo cartilaginoso y de la longitud del músculo liso (Fuente: Costantino et al., 2004).

## Revisión bibliográfica

Todo esto se traduce en que la oclusión de la luz depende en gran medida de las características mecánicas asumidas por el músculo liso y el arco cartilaginoso, que es la estructura principal de carga. Respecto al tejido conectivo adyacente, parece ser que su papel es casi insignificante. Esto coincide con lo afirmado por Teng et al., (2008), quienes dicen que el tejido blando unido a la pared del cartílago tiene poco impacto en el comportamiento de flexión del cartílago traqueal. Aunque según pruebas realizadas *in vivo* por Shaffer et al., (1989), mencionadas más adelante, los factores del tejido conjuntivo neural-humoral y circundante si pueden afectar a la elasticidad de las vías respiratorias.

El siguiente esquema refleja brevemente cuales serían las consecuencias de una alteración de la morfología de la tráquea y que desarrollaremos a continuación:



Esquema 1: Resumen sobre las consecuencias de una alteración en la forma traqueal.

La velocidad del aire es uniforme a lo largo de la tráquea en individuos con una tráquea anatómicamente normal; sin embargo, en estudios que se han llevado a cabo en pacientes con estenosis traqueal congénita, la velocidad aumentó cuando el diámetro traqueal disminuía, con velocidad máxima en los sitios de estenosis más estrecha. Para los casos patológicos, los vórtices se generaron distalmente a la estenosis. En la mayoría de los casos patológicos, el flujo inverso se produjo

## Revisión bibliográfica

---

por debajo de la estenosis debido a la expansión súbita de las vías respiratorias; esto no se observa en el modelo sano o en el caso de estenosis progresivas (Mimouni-Benabu et al., 2012). Esto es importante tenerlo en cuenta puesto que el flujo laminar requiere menos gradiente de presión que el flujo turbulento para lograr la misma velocidad de flujo, por lo que reduce el trabajo de respiración (Al-Qadi et al., 2013).

Debe subrayarse que la compresión traqueal afecta más a la inspiración que a la espiración, ya que el flujo de aire más alto a través de una luz traqueal estrecha induce un gradiente de presión transmural negativo a través de la pared traqueal, lo que puede causar un colapso parcial de los anillos traqueales. La disminución de la presión transmural durante la espiración es menos crítica debido a que la presión de aire intratorácica está por encima del nivel atmosférico (Sørensen et al., 2014).

En la tráquea normal, el patrón de pérdida de energía por la resistencia de las vías aéreas corresponde a dos zonas distintas. Una se produce justo después de pasar la glotis, en la región llamada chorro glótico, pero se reduce rápidamente al pasar dicho lugar. Y luego distalmente, en toda su longitud, por las pérdidas por fricción en la pared, lo que representa la mayoría de las pérdidas, hasta un 86% respecto al primer anillo (Bates et al., 2016). La resistencia de las vías aéreas constituye el 80% de la resistencia total, que puede elevarse de forma significativa en presencia de algunas enfermedades. Las vías aéreas superiores son responsables del 20-40% de la resistencia total de las vías aéreas. Aumenta al respirar por la nariz en comparación a la respiración por boca. El resto de la resistencia (20%) corresponde al tejido pulmonar (García et al., 1995).

Pequeños cambios en el área de la tráquea pueden tener un efecto pronunciado en el flujo de aire y en la resistencia de la vía aérea. Esto viene explicado por la ley de Poiseuille, también conocida con ley de Hagen-Poiseuille, que permite determinar el flujo laminar estacionario, describe la relación de presión y resistencia en función del radio de un tubo. En 1842, Poiseuille diseñó una ecuación experimental que permitió establecer las relaciones cuantitativas en

## Revisión bibliográfica

---

tubos rígidos y cilíndricos, recorridos por un flujo continuo y laminar de un fluido viscoso constante, frente a las variaciones de velocidad durante su desplazamiento. Determinó que la resistencia por fricción (R) es igual a la diferencia de presión ( $\Delta P$ ) entre los puntos de entrada y salida para un flujo unitario ( $\tilde{V}$ ):

$$R = \Delta P / \tilde{V}$$

También determinó una relación entre la resistencia (R) al paso de un fluido viscoso ( $\eta$ ), la longitud (l) y la relación inversa con la cuarta potencia del radio ( $r^4$ ) último:

$$R = 8 \eta l / \pi r^4$$

Es decir, que la resistencia del aire depende de la longitud del sistema, la viscosidad de la sustancia que fluye a través del sistema, en este caso el aire, y del radio del tubo. Puesto que la longitud del aparato respiratorio es constante, podemos ignorar esta variable. La viscosidad del aire podemos considerarla constante también, aunque puede cambiar si cambia la humedad relativa del aire o la presión atmosférica. Por ejemplo, en una sauna cuesta respirar más porque el vapor de agua incrementa la viscosidad del aire, lo que aumenta la resistencia al flujo. Cuando aumenta la presión atmosférica, también aumenta la viscosidad, esto ocurre en los buceadores que respiran aire comprimido a alta presión, mientras que alguien que viva a gran altura puede notar menos resistencia. A pesar de estas excepciones la viscosidad juega un papel despreciable en la resistencia al flujo del aire (Gal et al., 2007). Con todo esto, podemos decir que el parámetro más importante para la resistencia de las vías respiratorias es el radio o el diámetro de la vía respiratoria. La resistencia a la circulación del aire es mayor cuanto menor sea el diámetro de dichas vías. El diámetro de la tráquea no puede modificarse, su resistencia al flujo es constante, por lo que cualquier modificación en su anatomía influirá en su resistencia al flujo del aire.

## Revisión bibliográfica

---

Haciendo números con la ecuación de Poiseuille podemos definir el flujo ( $\tilde{V}$ ) de la siguiente manera:

$$\tilde{V} = \pi \Delta P r^4 / 8 \eta l = \Delta P / R$$

Todo esto nos sirve para explicar que la ecuación de Poiseuille viene a confirmar que la disminución del radio aumenta la resistencia. La reducción del radio de 1 a 0,85 (variación del 15%), disminuye el flujo de 1 a 0,5 (una variación del 50%); es decir, la resistencia ha aumentado al doble. La reducción del radio de 1 a 0,5 (variación del 50%), disminuye el flujo de 1 a 0,06 (variación del 94%). Es decir, si reducimos la luz a la mitad, la resistencia aumentará hasta 16 veces (Silverthorn, 2009).

Las vías más estrechas aportan una resistencia relativamente escasa. Esta paradoja es porque estas vías están dispuestas en paralelo, por lo que la resistencia total es baja.

En condiciones normales de respiración, la presión traqueal es positiva, la resistencia general del sistema total de la vía aérea humana es baja, y la tráquea intratorácica representa el 20% de esa resistencia como ya hemos dicho. Sin embargo, cuando el flujo es elevado, como lo es durante el ejercicio y la tos, la presión traqueal puede volverse negativa con posiblemente grandes aumentos en la resistencia traqueal (Holzhäuser, y Lambert, 2001).

El esfuerzo requerido para inhalar una bocanada de aire es una medida de importancia crítica para evaluar la función de las vías respiratorias. Aunque de forma fisiológica la contribución de la tráquea a la resistencia al flujo total de las vías respiratorias es generalmente modesta, alteraciones patológicas en la geometría traqueal pueden tener un efecto negativo importante (Bates, 2016).

Mediante un estudio de dinámica de fluidos realizado por Brouns et al., (2007), para determinar la caída de presión sobre la vía respiratoria, que es un factor determinante del trabajo de respiración en pacientes con estenosis traqueal, determinaron que la caída de presión sobre la estenosis aumentó drásticamente

## Revisión bibliográfica

---

sólo cuando más del 70% de la luz traqueal se borró. En humana, los pacientes con estenosis de la vía aérea traqueal suelen presentar una insuficiencia respiratoria con clínica observable cuando se ha producido una pérdida del 75% o más de la luz de la vía aérea. Datos que coinciden con Serrano (2012) y con Al-Qadi et al., (2013), según los cuales, la disnea en reposo se desarrolla cuando el diámetro de la vía aérea superior disminuye en un 75% (<5 mm).

Según un estudio de Mimouni-Benabu et al., (2012) sobre las caídas de presión en distintos tipos de estenosis traqueales, se encontraron diferentes perfiles de presión según la geometría de la estenosis. Los parámetros de la geometría traqueal se determinaron a partir de las tomografías computarizadas, incluida la longitud de la estenosis, la longitud total de la tráquea, el área de estenosis transversal más estrecha y el diámetro traqueal normal. A partir de estos datos, se calcularon dos ratios para describir la geometría de la estenosis: ratio de longitud (rl) = longitud de la estenosis / longitud total de la tráquea; y ratio de diámetro (rd) = área transversal más estrecha de estenosis / diámetro traqueal normal. De este modo, se cuantificó que las estenosis de mayor ratio de longitud y diámetro, presentan menor caída de presión; y tráqueas con una estenosis de menor ratio de longitud y diámetro presentan mayores caídas de presiones. Compararon también el tipo de estenosis, si era gradual o el cambio del diámetro era repentino. Y el estudio sugirió que la forma en la que se produce la variación del diámetro tuvo un efecto importante sobre la caída de la presión, siendo más acusado en la estenosis repentina.

Es difícil medir la calidad de vida en los rumiantes ante cualquier grado de alteración en la tráquea que dará lugar a dificultad respiratoria, tos, sensación de asfixia, disfagia... ya que tampoco hay una correlación directa entre el grado y tipo de lesión con la clínica. En medicina humana, clínicamente, parece ser que la desviación traqueal es menos crítica que la compresión traqueal según una revisión bibliográfica realizada por Sørensen et al., (2014). Pero según Mimouni-Benabu et al., (2012), sí hubo una fuerte asociación entre la caída de presión y la sintomatología clínica, a mayor caída de presión se observa un peor resultado

## Revisión bibliográfica

---

clínico debido al mayor grado de resistencia respiratoria y al esfuerzo en la estenosis traqueal.

En la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y en la traqueomalacia, el colapso traqueal a menudo se observa con el cartílago traqueal flexible cambiando su curvatura y la membrana de la mucosa cayendo en el interior de la luz de la tráquea causando la obstrucción. La sensación de cosquilleo de la membrana que toca el revestimiento traqueal genera tos, lo que finalmente resulta en la limitación del flujo ventilatorio (Penn et al., 1988; Deoras et al., 1991), que se manifiesta clínicamente como angustia.

Como dato interesante, Tchirikov et al., (2005), intentaron determinar la alteración del perfil de velocidad del flujo sanguíneo en las arterias pulmonares de fetos de ovejas después de la oclusión traqueal mientras se encontraban en el útero materno. Concluyeron que el volumen pulmonar fetal aumentó tres veces (pasó del 4% al 14.5%) después de la oclusión traqueal sin cambios significativos de los perfiles de velocidad del flujo sanguíneo en las arterias pulmonares fetales. Se produjo un cambio en el volumen del tejido pulmonar parenquimatoso, aumentando significativamente el peso pulmonar relativo. Histológicamente, se observó un aumento de los diámetros vasculares (19%) y tejidos, reo. Esto sugiere que el crecimiento del tejido pulmonar después de una oclusión traqueal es proporcional al crecimiento vascular al no haber cambio en los patrones normales de flujo pulmonar. Estos experimentos se han intentado realizar en fetos humanos con hernia diafragmática congénita. Se han llevado a cabo experiencias iniciales que muestran que la estrategia de ocluir la tráquea fetal para inducir el crecimiento y el desarrollo del pulmón fetal funciona en fetos humanos como lo hizo en el modelo experimental de cordero fetal, aunque está plagada de una variedad de problemas y complicaciones frustrantes. Por supuesto, la prueba definitiva de la eficacia de la oclusión traqueal en la producción de crecimiento y desarrollo pulmonar con una mejor función en el momento del nacimiento requiere más experiencia. El método óptimo de

oclusión traqueal temporal aún está evolucionando, hasta ahora ha sido una terapia algo infructuosa pero prometedora (Harrison et al., 1998).

### **3.5. CAMBIOS DURANTE EL DESARROLLO TRAQUEAL**

Se sabe que las propiedades mecánicas de las vías respiratorias proximales cambian con el desarrollo. Las vías respiratorias altamente adaptables del animal inmaduro se vuelven más rígidas y menos colapsables con el aumento de la edad. Aunque la relación entre la arquitectura traqueobronquial y la función se ha descrito mucho más para la fisiología de adultos y en humana, las tráqueas de animales también se han utilizado ampliamente como modelos para estudiar los mecanismos que determinan los cambios de maduración en la función de la vía aérea. Un estudio de Bhutani et al., (1981), en segmentos traqueales de conejo *in vitro*, documentó una disminución relacionada con la edad en la elasticidad en la vía respiratoria de conejo en desarrollo que es similar a la observada en neonatos (Burnard et al., 1965). En cuanto al ovino, un estudio *in vivo* de la tráquea inervada y perfundida de un cordero, demostró también cambios de desarrollo similares en la vía aérea y una disminución en la constante de tiempo de relajación traqueal (Shaffer et al., 1989). Cabe señalar que, en comparación con los resultados de los estudios *in vitro*, los valores absolutos del cumplimiento traqueal específico *in vivo* fueron menores. La contribución de las fuerzas del tejido conectivo circundante o las influencias neurohumorales en el tono del músculo liso de las vías respiratorias pueden afectar a las propiedades elásticas de las vías respiratorias en desarrollo y explicar estas diferencias observadas (Shaffer et al., 2017). Además, la disminución en el tiempo de relajación constante con la maduración también sugiere diferencias relacionadas con la edad en el tono del músculo liso *in vivo*. Las alteraciones del tono del músculo liso modulan las propiedades mecánicas y las relaciones presión-flujo de la tráquea en corderos prematuros y recién nacidos (Bhutani et al., 1986; Penn et al., 1988).

## Revisión bibliográfica

---

A continuación, citaremos varios estudios llevados a cabo en tráqueas de la especie ovina y humana, en los que se han observado tanto cambios estructurales como morfométricos, los cuales se han traducido en cambios de las propiedades funcionales y elásticas de las tráqueas.

Roberts y Pare (1991) describieron cambios en los proteoglicanos que incluyen alteraciones de tamaño, densidad de carga y agregación y proteólisis en proteínas de enlace con el aumento de la edad después de la madurez. En individuos de 1 a 58 años, tras la extracción y purificación de proteoglicanos a partir de cartílago traqueal, observaron que el cartílago de los individuos jóvenes contenía una cantidad importante de proteoglicano agregante extraíble y muy poca proteína de enlace. Esta concentración de proteína de enlace en relación con el proteoglicano fue aumentando durante los primeros 14 años de vida, mientras que la formación de agreganos se estabilizaba a medida que terminaba el crecimiento del cartílago traqueal y el ensanchamiento de la luz de las vías respiratorias. Según aumentaba la edad, la capacidad de los proteoglicanos para asociarse con el hialuronano fue disminuyendo. Además, las proteínas de enlace mostraron evidencias de un aumento de la proteólisis con la edad, aunque el contenido total de glicosaminoglicanos y agua en el tejido no mostró cambios estadísticamente significativos. Como consecuencia, todo esto puede contribuir a los cambios en la biomecánica del cartílago que están asociados con cambios dependientes de la edad en la función pulmonar humana (Robert y Pare, 1991).

Según Safshekan et al., (2017), estudiando, en humana, el comportamiento viscoelástico del cartílago traqueal, musculo liso y el tejido conectivo que une los anillos, según los datos obtenidos, observaron un endurecimiento general, una mayor rigidez (pero no estadísticamente significativo) del cartílago traqueal y el tejido conectivo con el envejecimiento. Por el contrario, el músculo liso mostró una disminución leve y no significativa en la rigidez con el envejecimiento. No registraron cambios relacionados con la edad en el porcentaje de relajación.

Rains et al., (1992) también examinaron la rigidez de la tráquea de individuos entre los 17 y 81 años. Compararon las propiedades de tracción de la tráquea

## Revisión bibliográfica

---

comparando el contenido de agua en porcentaje, glicosaminoglicanos (cantidad de condroitin sulfato en mg) y el contenido de hidroxiprolina (en mg), que se puede considerar como un marcador total de colágeno. Obtuvieron como resultado que la capa más externa del cartílago era la más rígida en todos los individuos, y las capas más profundas eran progresivamente menos rígidas. El contenido de agua y el contenido de hidroxiprolina disminuyeron al aumentar la edad, lo que puede reflejar un menor contenido de colágeno o un tipo de colágeno alterado a mayor edad. Por lo tanto, la rigidez a la tracción se correlacionó inversamente con el contenido de agua y el contenido de hidroxiprolina. Por otro lado, el contenido tisular total de los glicosaminoglicanos no cambió con la edad, lo que coincide con lo dicho por Roberts y Pare, (1991), aunque se han descrito cambios en el tipo de glicosaminoglicanos y la estructura de los proteoglicanos al aumentar la edad. Durante la edad adulta, se produjo una disminución relacionada con la edad en la capacidad de estas moléculas para formar agregados con hialuronano, y se observaron evidencias de escisión proteolítica en las proteínas de enlace, cambios que se espera que conduzcan a una disminución en la resistencia del tejido a la compresión y tensiones de corte con el aumento de la edad.

Esto es debido a que el envejecimiento se ha asociado con un aumento de la rigidez y una disminución del contenido de hidroxiprolina (que es indicativo del contenido total de colágeno). Por lo tanto, dicho comportamiento más rígido del cartílago traqueal en las muestras envejecidas no puede ser simplemente debido al contenido de colágeno. Con el envejecimiento, se incrementa la reticulación entre las moléculas de colágeno, lo que puede aumentar la rigidez. Además, la distribución del colágeno en las fibrillas se modifica con el envejecimiento, lo que puede ocasionar algunas alteraciones en la organización, el tamaño y el comportamiento mecánico de las fibrillas de dicho colágeno (Rains et al., 1992). La asociación de tales fibrillas con proteoglicanos también puede cambiar con el envejecimiento (Safshekan et al., 2017). Todo esto deriva en alteraciones en el comportamiento viscoelástico de la tráquea.

## Revisión bibliográfica

---

Por otro lado, el cartílago hialino tiene tendencia a calcificarse en un proceso en el que los cristales de fosfato de calcio se depositan en la matriz cartilaginosa. Con el tiempo, como parte del proceso de envejecimiento, el cartílago que se calcifica será reemplazado por tejido óseo. Los condrocitos normalmente obtienen todos sus nutrientes y eliminan sus desechos por difusión a través de la matriz. Cuando la matriz se calcifica, la difusión se ve impedida y los condrocitos sufren tumefacción y mueren. Como consecuencia, la matriz calcificada se degrada y se reemplaza por tejido óseo (Ross y Paulina, 2013). Como consecuencia de todo este proceso se produce una pérdida de flexibilidad.

En un estudio realizado por Kusafuka et al., (2001), examinó la osificación del cartílago traqueal de neonatos y de 25 individuos de edades comprendidas entre los 20 y 87 años. El cartílago traqueal neonatal no mostró calcificación ni osificación, aunque el cartílago traqueal adulto envejecido mostró marcada hialinización en las áreas centrales. Esto se traduce en una degradación de la matriz del cartílago. La osificación observada en estos casos exhibió formación de hueso laminar con médula ósea grasa, y se produjo en las regiones periféricas laterales del cartílago traqueal. No hubo hallazgos que indiquen la osificación endocondral, ni la maduración o la hipertrofia de los condrocitos en estas regiones. Pero si se observó degeneración de condrocitos en la región central y degeneración de sus lagunas. En algunas partes, el pericondrio fue completamente reemplazado por la matriz ósea laminar. En el cartílago traqueal neonatal, el colágeno tipo II se localizó difusamente en todas las regiones del cartílago mientras que, en el cartílago adulto envejecido, el colágeno tipo II se localizó más fuertemente en las regiones periféricas del cartílago traqueal que en las regiones centrales, donde se degradó (imagen 6). Es decir, el cartílago traqueal neonatal no mostró osificación, calcificación o reducción en la expresión del colágeno tipo II. Sin embargo, el envejecimiento influye claramente en la osificación frecuente de las regiones periféricas laterales del cartílago traqueal en seres humanos, en el aumento de la hialinización en la región central y en la degradación de la matriz cartilaginosa.

## Revisión bibliográfica

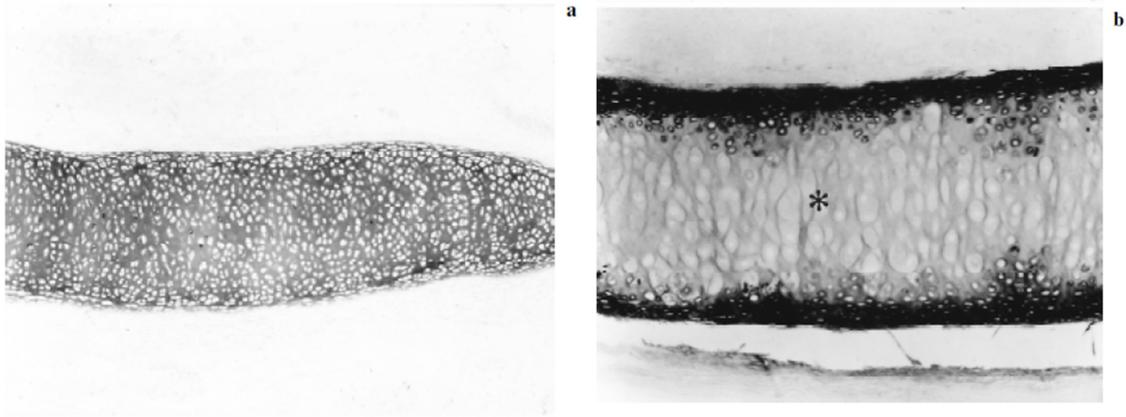


Imagen 6: a) Cartílago traqueal neonatal. El colágeno tipo II se localiza de forma difusa en todas las regiones de la matriz cartilaginosa. b) Cartílago traqueal adulto envejecido. El colágeno tipo II se localiza solo en la región periférica. La región central (asterisco) del cartílago traqueal adulto envejecido no reacciona contra el anticuerpo de colágeno anti-tipo II (Fuente: Kusafuka et al., 2001).

Por otra parte, Mitchell et al., (1996) informaron que los condrocitos del cartílago de los seres humanos de avanzada edad pueden producir hialuronidasas y colagenasas que escinden el colágeno tipo II y esto puede jugar un papel importante en la condrolisis del cartílago traqueal de los seres humanos.

En otro estudio llevado a cabo en corderos, de Deoras et al., (1991) mediante la utilización de una técnica de tinción con azul alcian, que puede teñir el sulfato de condroitina, el ácido hialurónico, la heparina y las glicoproteínas ácidas, para determinar semicuantitativamente el contenido de glicosaminoglicanos del cartílago traqueal, observaron una intensidad de tinción superior del 20% ( $p < 0.05$ ) del cartílago traqueal en el grupo de animales más viejos en comparación con el de los animales más jóvenes. También realizaron una digestión enzimática por hialuronidasa testicular siendo la reacción de tinción ausente en las secciones del grupo de animales más jóvenes y reduciéndose en gran medida en el grupo de animales más viejos. Esto demostró que el aumento en la intensidad de tinción de azul alcian (en relación con el fondo) en el grupo de animales más viejos indica un aumento del contenido de GAG en el cartílago

## Revisión bibliográfica

---

traqueal y la presencia de proteoglicanos resistentes a la digestión por hialuronidasa testicular. La rigidez traqueal se ve afectada por la rigidez de su cartílago, que a su vez depende de los componentes de la sustancia base extracelular, principalmente la GAG, y el colágeno. Se ha demostrado que la degradación enzimática de los proteoglicanos causa una marcada reducción en la estabilidad del cartílago para resistir los esfuerzos de compresión, lo que determina la rigidez traqueal (Deoras et al., 1991). Esto contrasta con lo dicho por Roberts y Pare (1991), y Rains et al., (1992), que concluyeron que no había cambios en el contenido de los glicosaminoglicanos con la edad en el tejido traqueal de seres humanos.

Otro cambio según Reynolds et al., (2015) es que la frecuencia de las células basales se ve alterada por el envejecimiento, las lesiones y las enfermedades. Wansleben et al., (2014), informaron que la densidad de células epiteliales y la frecuencia de células basales disminuye en ratones machos y hembras a los 22 meses de edad.

También podemos detectar cambios morfométricos de la tráquea que acompañan al desarrollo de la misma durante su crecimiento. Ya hemos comentado que en adultos jóvenes, en una inspiración profunda la tráquea se estira hasta el punto de descender la carina 2,5 cm, es decir, aproximadamente un 20% de la longitud de la tráquea sin tensiones. En un experimento llevado a cabo por Harris, (1959), en tráqueas de individuos que variaban en edad, desde el nacimiento hasta los 88 años, encontró que el aumento del peso de una carga en la tráquea producía una cantidad de extensión gradualmente decreciente hasta que se alcanzaba una etapa en la cual la carga adicional producía una extensión mucho menor, y esto se tomaba como el punto de extensión total. Estudiaron que ocurría cuando se aplicaba un peso de aproximadamente 20 gramos a una tráquea infantil, 80 gramos aproximadamente a la de un adulto de vida media, y alrededor de 140 gramos a la de un adulto senil. El aumento en la longitud se expresó como un porcentaje de la medida inicial. Al nacer, la tráquea puede extenderse, in vitro, en

## Revisión bibliográfica

---

aproximadamente el 46% de su longitud no extendida. Aproximadamente a los 15 años de edad, la extensibilidad comienza a disminuir en aproximadamente un 3% cada 10 años y disminuye a aproximadamente del 15 al 20% en la vejez, por lo que podemos decir que existe una relación inversa significativa entre la edad y la extensibilidad. Ferguson et al., (1950) determinaron que la extensibilidad de la tráquea humana a partir de cadáveres es del 35% a los 29 años y del 17% a los 76 años, con el mayor estiramiento alcanzado con 200 gramos de tensión. Esto podría deberse a un aumento gradual de los cambios seniles en el tejido elástico de la tráquea que se producen al igual que en todo el cuerpo.

En un estudio cuantitativo de Wailoo y Emery, (1982) sobre las tráqueas normales de 452 niños de edades comprendidas entre las 28 semanas de gestación y los 14 años, midieron la longitud de la tráquea, desde la laringe hasta la carina, la longitud media del cartílago, la longitud del músculo transverso, es decir, de la membrana traqueal y el perímetro interno total al nivel de la membrana basal de la mucosa para cada punto de la tráquea para cada grupo de niños. También calcularon la relación entre la longitud del cartílago y la longitud del músculo. Tuvieron en cuenta los perímetros internos totales medios según los diferentes tamaños de los niños. Observaron que en el período neonatal, la tráquea tiene forma de embudo con el extremo superior más ancho que el extremo inferior, pero la diferencia entre la parte superior e inferior disminuye a medida que aumenta el tamaño del cuerpo volviéndose marginalmente más cilíndrica durante los primeros cinco años después del nacimiento. Este patrón de crecimiento se repite para el cartílago y el músculo. Si bien hay un aumento gradual en la longitud del cartílago en todos los puntos de la tráquea durante toda la infancia, los cartílagos en el extremo superior de la tráquea permanecen más largos que los situados en la parte inferior de la misma. También hay un aumento gradual en la longitud del músculo con la edad y, al igual que el cartílago y el diámetro interno, el músculo es más largo en la parte superior que en la inferior. Durante este período de crecimiento, la relación entre el cartílago y el músculo permanece constante, de modo que se mantiene la rigidez de la pared.

## Revisión bibliográfica

---

A pesar del crecimiento diferencial de la pared traqueal y el tamaño de la luz traqueal, la relación entre la longitud del cartílago y la longitud del músculo permanece sin cambios para cada punto de la tráquea, independientemente de la edad.

En un estudio, Deoras et al., (1991), probaron la hipótesis de que las alteraciones en la morfometría traqueal son paralelas a las diferencias de desarrollo en las propiedades funcionales traqueales. En tráqueas de corderos, en periodos de vida comprendidos entre el 70% de gestación hasta los seis días de edad, correlacionaron las dimensiones traqueales medidas (radio, área de la sección transversal, circunferencia interna y externa, longitud del cartílago, longitud del músculo, área del cartílago, área muscular, grosor del cartílago, grosor muscular, cantidad de cartílago y cantidad de músculo) a la edad de desarrollo.

Los resultados mostraron: aumentos progresivos y significativos en las dimensiones de la tráquea, el área de la sección transversal y la circunferencia, cambios en los componentes de la pared traqueal, alteraciones en la disposición geométrica del anillo traqueal y cambios en las características de composición del cartílago traqueal con la maduración. Este aumento en el calibre traqueal contribuye al mayor volumen pulmonar y a la disminución de la resistencia de las vías respiratorias observada con el desarrollo. Las alteraciones en el calibre de las vías respiratorias pueden afectar a las diferencias en el desarrollo de la mecánica de las vías respiratorias, así como a los cambios en los componentes tisulares activos y pasivos de sus paredes. Por ejemplo, en el caso de la tráquea, los principales componentes de la pared traqueal que contribuyen a sus propiedades mecánicas son el cartílago traqueal y el músculo liso traqueal, y los cambios en la geometría e integridad de estos tejidos, así como su relación entre sí, puede afectar a la función mecánica del órgano (Deoras et al., 1991).

Para caracterizar los cambios de las propiedades mecánicas de las vías respiratorias, relacionadas con la edad, Shaffer et al., (1989) evaluaron el comportamiento elástico y viscoelástico de segmentos traqueales *in vivo* en corderos prematuros y en recién nacidos en un intervalo de edad comprendido

## Revisión bibliográfica

---

entre 108 y 154 días después de la concepción. Con el aumento de la edad, descubrieron que las vías respiratorias eran menos flexibles, y determinaron que la constante del tiempo de relajación traqueal disminuía. La diferencia en las propiedades elásticas de la tráquea, *in vivo* en comparación con *in vitro*, sugiere que los factores del tejido conjuntivo neural-humoral y circundante pueden afectar a la elasticidad de las vías respiratorias en desarrollo. Aunque los efectos del tono muscular liso y del tejido conectivo de soporte ayudan a controlar la dimensión de las vías respiratorias y la resistencia al flujo de aire en las vías respiratorias intactas, las diferencias de propiedades elásticas relacionadas con la edad pueden ser un factor también determinante. En el trabajo citado anteriormente, se encontró que el cumplimiento de las vías respiratorias disminuyó en un 53% con el aumento de la edad de desarrollo entre los días 108 y 154 después de la concepción; y la constante de tiempo de relajación del músculo liso, se relacionó significativamente con la edad de desarrollo, es decir, el cumplimiento traqueal como la constante de tiempo de relajación se correlacionaron inversamente con la edad de desarrollo en pruebas *in vivo*.

Así como Shaffer et al., (1989), hicieron su estudio en corderos hasta de días de edad, Penn et al., (1989) estudiaron el comportamiento del cartílago traqueal en corderos prematuros y ovejas adultas para determinar las diferencias de desarrollo en las propiedades mecánicas del cartílago traqueal. La tensión del cartílago se midió, por un lado con el complejo (compuesto por la *pars membranacea* y su inserción cartilaginosa) y por otro lado con en el cartílago solo (al cortar la *pars membranacea*), a medida que el anillo se alargaba para aumentar la distancia entre los puntos de inserción. Los resultados del estudio sugirieron que el cartílago traqueal del cordero prematuro es extremadamente extensible en comparación con el de la oveja adulta. Estas diferencias relacionadas con la edad parecen ser paralelas a las diferencias de desarrollo ya observadas en el músculo liso traqueal y la mecánica traqueal. Por lo tanto, se demostró que el componente estructural principal, el cartílago del anillo, se vuelve más rígido con la maduración.

## Revisión bibliográfica

---

Es bien sabido que las vías respiratorias neonatales son estructuras muy flexibles. Las muestras de tráqueas tomadas en autopsias (Croteau y Cook, 1961) y estudiadas tanto *in vitro* (Buthani et al., 1981), como *in vivo* (Koslo et al., 1986) han demostrado que el cumplimiento de la vía aérea es mayor en sujetos inmaduros que en adultos. Varios factores pueden dar como resultado un aumento de la rigidez de las vías respiratorias con la edad, incluido un aumento en el contenido de cartílago, maduración desde precartilago a cartílago y un aumento general en la cantidad de músculo liso de las vías respiratorias. Sin embargo, las contribuciones relativas del cartílago y el músculo liso al aumento de la rigidez de la vía aérea con la edad no se conocen exactamente porque los estudios previos han examinado la tráquea como un todo y no han separado sus componentes. Se ha demostrado que la contracción del músculo liso de las vías respiratorias disminuye el cumplimiento de la vía aérea en tráqueas de perros adultos (Olse et al., 1967; Palombina y Coburn, 1972) y de corderos al final de la gestación (Buthani et al., 1986; Koslo et al., 1986). Sin embargo, no se sabía si la generación de la fuerza muscular lisa de las vías respiratorias depende de la edad. Por ello, en un estudio, Panitch et al., (1989) examinaron las relaciones longitud-tensión de tiras musculares traqueales aisladas de corderos al término de la gestación y de ovejas adultas, estirándolas, para determinar si el músculo liso de las vías respiratorias sufre un cambio relacionado con la edad en la capacidad de generación de fuerza. Se estimularon las tiras de músculo liso con acetilcolina (ACh) y KCl para evaluar la generación de fuerza. Respecto a la medición de las tensiones, éstas fueron 2,5 veces mayores en las tiras de los animales adultos que en las tiras de corderos al término de la gestación. Por otro lado, las tiras musculares de ovejas adultas se contrajeron significativamente más que las tiras musculares de los corderos al estimularlas con distintas concentraciones de ACh. Por lo que, tanto la magnitud de la respuesta contráctil como la sensibilidad del músculo traqueal a ACh fueron dependientes de la edad. Lo mismo ocurrió al someterlas a contracciones con KCl. En conclusión, se puede decir que el músculo traqueal adulto es capaz de generar una mayor cantidad de tensión que el músculo de animales prematuros y que la mayor sensibilidad del músculo liso

## Revisión bibliográfica

---

de las vías respiratorias de la tráquea prematura en comparación con la tráquea del adulto a diversos agonistas aumenta con la edad.

En otro estudio posterior, Panitch et al., (1992), examinaron los cambios funcionales y estructurales que ocurren en el músculo liso de las vías respiratorias de ovinos en un amplio rango de edades de desarrollo, desde el nacimiento hasta los 6 años de edad, y observaron diferencias relacionadas con la edad en el tono de reposo de la tráquea. La contracción pasiva del músculo traqueal aislado aumentó 3 veces entre los adultos respecto al grupo de corderos al final de gestación. Estas diferencias en el trabajo pasivo no pueden atribuirse simplemente a un aumento en la masa muscular, porque la proporción de músculo y tejido conectivo dentro del haz muscular en sí mismo se mantuvo constante. Los cambios de las propiedades de la sustancia fundamental intermedia o en los contenidos celulares de las células musculares pueden explicar el aumento en la contracción pasiva. Otras causas posibles del aumento en el tono de reposo pueden incluir un aumento en el contenido de proteína contráctil dentro de cada célula, un aumento en el número de puentes cruzados, o una diferencia en la conformación geométrica de las fibras musculares con la edad.

Seidel et al., (1987) han demostrado que el contenido de proteína contráctil/proteína total del músculo liso vascular aumenta con la edad. Cómo el contenido de miosina del músculo liso de las vías respiratorias cambia con la edad está menos claro. Lo que sí han encontrado, son diferencias en las isoformas de miosina entre el músculo liso embrionario, neonatal y adulto en ambas vías respiratorias (Mohamed y Sparrow, 1988). En estudios que usan músculo traqueal porcino, el contenido de miosina aumentó desde el feto hasta el adulto (Sparrow y Mitchell, 1990), es decir, los cambios de desarrollo en la generación de fuerza de las vías respiratorias y del músculo liso en varias especies se han relacionado con un aumento en la cantidad de proteínas contráctiles (actina y miosina) por unidad de área y diferencias relacionadas con la edad en la cantidad

## Revisión bibliográfica

---

y tipo de isoformas de miosina (Takano-Ohmuro et al., 1983; Kawamoto y Adelstein, 1987; Sparrow y Mitchell, 1990).

Cuando se compararon las características de tensión de longitud del cartílago traqueal entre ovejas adultas y corderos prematuros de 118-120 días de gestación, la pendiente media de la línea de tensión generada por el cartílago traqueal del adulto fue aproximadamente nueve veces mayor que la del cartílago pretérmino (Panitch et al., 1992), lo que vuelve a confirmar que el cartílago traqueal se vuelve más rígido o menos deformable con la edad.

Todos estos y más estudios nos dejan como conclusión, básicamente, que la madurez hace que las vías respiratorias sean más rígidas y menos propensas a colapsarse porque aumenta la capacidad de contracción del músculo liso de las vías respiratorias, entre otras causas. Esto da como resultado, la incapacidad del músculo liso inmaduro para generar tanta fuerza como el músculo liso adulto, que a nivel de humana es importante porque ayuda a explicar por qué los recién nacidos prematuros que requieren ventilación mecánica están en riesgo de desarrollar problemas estructurales en las vías respiratorias, pero en nuestro caso esto se traduce en que la tráquea de las ovejas más jóvenes ante posibles traumatismos deberían sufrir menos roturas de cartílagos gracias a su mayor capacidad de adaptación y elasticidad que en animales adultos y es aplastada colapsándose pero sin romperse.

En el esquema 2 se puede leer un pequeño resumen de los distintos cambios en las propiedades físicas que se producen en la tráquea con el paso de los años.

## Revisión bibliográfica

Esquema 2: Resumen de los cambios funcionales que se producen en la tráquea con la edad.



### 3.6. PATOLOGIAS DE LA TRAQUEA

La tráquea del individuo adulto se puede ver afectada por alteraciones congénitas, así como por una serie de trastornos, bien directos o indirectos, ya que puede participar como un órgano diana de una variedad de enfermedades sistémicas. Los trastornos traqueales resultan de trastornos intrínsecos (infecciones, procesos inflamatorios, traumatismos y neoplasias) o de compresión extrínseca de estructuras adyacentes.

Estos trastornos se manifiestan principalmente con obstrucciones de diferente grado de las vías respiratorias superiores (estrechamiento o estenosis). Sin embargo, cuando se pierde la integridad de la pared traqueal, puede desarrollarse dilatación traqueal (traqueomegalia) y puede asociarse con festoneado traqueal o diverticulosis (Al Qadi et al., 2013). Dichas deformidades pueden predisponer a la tráquea a un colapso dinámico durante la inspiración o espiración en la afectación de la vía aérea central extratorácica e intratorácica, respectivamente. Los animales con estenosis extratorácica, pueden presentar ronquera, sibilancias inspiratorias, estridor y tos no productiva (Al Qadi et al., 2013).

### **3.6.1. Trastornos intrínsecos**

#### **Alteraciones congénitas**

El colapso traqueal se ha descrito en corderos Texel cruzados con condrodisplasia hereditaria; los corderos afectados eran normales al nacer, pero desarrollaron intolerancia al ejercicio a la semana de edad. Los animales con afección grave presentaron compromiso respiratorio fatal al hacer ejercicio. Los signos clínicos de colapso traqueal pueden incluir fiebre, taquicardia, taquipnea, cianosis e hiperemia en la mucosa con ingurgitación vascular, pero los animales afectados también pueden tener signos vitales normales y parecer alertas y en buen estado. La disnea puede verse inducida o agravada por el ejercicio o excitación, pero también puede ser intensa en reposo. Se suele apreciar respiración estertórea, sobre todo en la inspiración, que se prolonga, y muchas veces se puede localizar en la tráquea con la auscultación. Estos corderos exhiben también retraso en el crecimiento, extremidades anteriores abiertas y negativa a caminar. La gravedad de los síntomas varía entre individuos. Algunos fallecen en las primeras semanas de vida debido al compromiso respiratorio mientras que otros sobreviven hasta la edad reproductiva. Los corderos con colapso traqueal, relacionado con condrodisplasia hereditaria tenían signos clínicos similares a un trastorno descrito en humanos debido a una mutación en el gen del transportador

## Revisión bibliográfica

---

de sulfato de la displasia diastrófica, pero por ahora no se ha descrito la mutación causal en las ovejas. La necropsia revela una tráquea flácida, aplanada y a veces irregularmente angulada. Los anillos traqueales están muy engrosados y la luz es estrecha. Histológicamente, el cartílago hialino aparece hiper celular y desorganizado, con focos de condrolisis aparente. Los condrocitos son más grandes de lo normal, y también se pueden ver arrugados, al parecer, necróticos (Smith, 2010).

La estenosis traqueal también puede ocurrir en corderos nacidos de ovejas que ingirieron raíces y rizomas de *Veratum californicum*. Estos corderos murieron a los 5 minutos de nacer después de presentar signos de dificultad respiratoria intensa. Esta malformación se atribuye a la ciclopamina, un alcaloide esteroideo que es el principio tóxico presente a concentración más alta en *V. californicum*. La estenosis se desarrolla si las madres ingieren *V. californicum* entre los días 31 y 33 de gestación, mientras que los defectos craneocefálicos típicos de los corderos nacidos de hembras expuestas se observan cuando las ovejas ingirieron la planta tóxica el día 14 de gestación. La necropsia revela aplanamiento lateral pronunciado de la tráquea. Los anillos traqueales están reducidos en número, con tamaño y formas anormales y espaciado irregular. Histológicamente, los anillos cartilagosos están aplanados y finos y tienen una zona más fina de condrocitos proliferantes en la superficie externa, comparados con animales sanos de la misma edad (Smith, 2010).

En la Astenia Congénita las tráqueas son más elásticas debido a los problemas de colágeno que presentan estos animales.

### **Infecciones**

La inflamación difusa de la laringe y la tráquea, que puede asociarse en algunos casos a signos de obstrucción de las vías respiratorias superiores, no es infrecuente en ovejas en el contexto de ciertas enfermedades virales, bacterianas y parasitarias agudas de las vías respiratorias superiores, como las causadas por el virus de la lengua azul, *Mycobacterium*, *Manhemia haemolytica*, etc.

### Víricas

Aunque se han aislado diversos virus a partir de ovejas con procesos respiratorios agudos, no es probable que exista en condiciones de campo un síndrome o complejo como el bacteriano, que se pueda atribuir de forma exclusiva a una infección vírica (Sharp y Nettleton, 2000). La infección por el virus parainfluenza tipo 3 (PI3) pasa desapercibida en el campo en la mayoría de los casos. Sin embargo, ocasionalmente se pueden observar síntomas de infección benigna localizada principalmente en el aparato respiratorio superior (Martín, 1983). La enfermedad resultante de la inoculación experimental depende en gran medida de la vía de inoculación. La instilación intranasal o la exposición en aerosol con virus PI3 da lugar a la replicación del virus en las vías respiratorias superiores sin manifestación clínica, mientras que la inoculación intranasal o intratraqueal ocasiona una grave enfermedad respiratoria a los 3-7 días postinoculación.

La lengua azul es una enfermedad de los rumiantes transmitida por insectos de la especie *Culicoides*, que se caracteriza por un curso clínico agudo o subagudo en rumiantes susceptibles, especialmente en ovejas. Está causada por un orbivirus de la familia *Reoviridae*. Las lesiones más evidentes incluyen edema facial y en orejas, exudado seco y áspero en los ollares, lesiones en la cavidad oral como hemorragias petequiales focales que progresan hasta formar focos necróticos grises sobre las erosiones y úlceras en los labios, lengua y en el cojinete dental. La mucosa bucal puede estar cianótica. Puede haber hiperemia y erosiones ocasionales en las papilas y láminas del retículo y del omaso. Las lesiones en el aparato respiratorio son el resultado de la lesión vascular: cianosis, congestión, edema, hemorragias y ulceraciones de las mucosas de la boca, esófago, estómago, intestino, mucosa pituitaria y mucosa traqueal. Puede existir espuma y líquido sero-sanguinolento en la tráquea cuando existe congestión pulmonar y edema (Díaz et al., 2005; Darpel et al., 2012).

La peste de los pequeños rumiantes es una enfermedad viral aguda o subaguda que se caracteriza por fiebre, estomatitis erosiva, conjuntivitis, gastroenteritis y

neumonía. Las cabras generalmente se ven más severamente afectadas que las ovejas. La peste de los pequeños rumiantes es causada por un paramixovirus del género *Morbillivirus*. Las secreciones oculares, nasales, y orales, así como las heces son todas fuentes de virus. La infección por contacto ocurre principalmente a través de la inhalación de aerosoles producidos al estornudar y toser. Las lesiones se caracterizan por inflamación y necrosis en la boca y el tracto gastrointestinal. A diferencia de la peste bovina, también hay un componente del sistema respiratorio definido, si bien inconstante. En el aparato respiratorio, las erosiones pequeñas y las petequias pueden ser visibles en la mucosa nasal, cornetes, laringe y tráquea (Díaz et al., 2005).

La viruela ovina y caprina (VOC) es una enfermedad viral aguda que se caracteriza por lesiones generalizadas en la piel y las membranas mucosas, fiebre persistente, linfadenitis, y a menudo neumonía focal con lesiones distribuidas uniformemente en pulmones. El virus de la VOC es un capripoxvirus, uno de los virus más grandes que existen. Las lesiones víricas pueden ocurrir en la garganta, la epiglotis y la tráquea. Estas generalmente aparecen como áreas blanquecinas rodeadas por un área de hiperemia (Díaz et al., 2005).

### **Bacterianas**

Se han descrito una variedad de patógenos como agentes etiológicos responsables de las enfermedades agudas o crónicas de las vías respiratorias en los ovinos que cursa con traqueítis, congestión, edema, hemorragias y presencia de espuma en las vías respiratorias superiores. La infinidad de interacciones entre agentes etiológico, factores ambientales y factores propios del animal hacen que englobemos todas esas patologías bajo el término de complejo respiratorio ovino que fue introducido por primera vez en 2008 (Lacasta et al., 2008). La presentación clínica va desde muertes repentinas sin sintomatología, a la existencia de lesiones pulmonares en animales que llegan al sacrificio sin presentar ningún tipo de síntomas (González, 2015). A nivel traqueal, las

## Revisión bibliográfica

---

lesiones producidas variarán según la forma en la que se presente el proceso. Las formas sobreagudas y agudas se caracterizan por hemorragias a todos los niveles donde podemos encontrar tráqueas muy congestivas, con hemorragias y contenido espumoso, concentrándose la mayor parte de las lesiones a nivel del cuello, cabeza y tonsilas. En la presentación de formas crónicas la presencia de hemorragias a nivel traqueal es algo menor y también menor el contenido espumoso. Las lesiones se centran más a nivel pulmonar. Los agentes microbianos implicados en el complejo respiratorio ovino son: *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bibersteinia threalosi*, *Mycoplasma spp.* y flora polimicrobiana (Lacasta et al., 2011).

Casi todos los casos informados están asociados con factores predisponentes en el huésped. Los riesgos incluyen estados inmunocomprometidos, daño local en la mucosa traqueal por varias causas y afectación de las vías aéreas superiores con infecciones sistémicas.

*Mycoplama ovipneumoniae*, responsable de una neumonía intersticial, puede aislarse frecuentemente en el pulmón, tráquea y nariz, pero también se encuentra en el tracto respiratorio de las ovejas sanas.

La tuberculosis está producida por miembros de complejo *Mycobacterium tuberculosis complex* (MTC), principalmente *Mycobacterium bovis* y *Mycobacterium caprae* (Grange et al., 1990). El ganado ovino ha sido tradicionalmente considerado menos susceptible a la tuberculosis que otros rumiantes domésticos tales como el bovino y el caprino. Los casos en ovino, publicados a nivel internacional y nacional siempre han sido casos individuales o de rebaños concretos (Muñoz-Mendoza et al., 2015). En España, se han descrito algunos casos clínicos y hallazgos de necropsia o matadero (García Marín et al., 1989; Aranaz et al., 1996; Gutiérrez et al., 1997; Muñoz-Mendoza et al., 2012). Se han reproducido lesiones traqueales mediante infecciones experimentales a nivel intratraqueal, que son muy difícilmente observables en infecciones

naturales (Bezoz, 2011). En cabras sí que se ha podido observar ocasionalmente úlceras tuberculosas en tráquea (Dahme y Weiss, 1989).

### **Parasitarias**

Existen procesos parasitarios producidos por vermes pulmonares, es decir, nematodos que se alojan tanto en el parénquima pulmonar como en las vías respiratorias que producen las denominadas bronconeumonías verminosas. En los pequeños rumiantes se presentan dos tipos de nematodos en pulmón, los llamados pequeños pulmonares o protostrongídeos localizados en parénquima principalmente y los denominados grandes pulmonares o *Dictyocaulus* cuyos adultos son fácilmente observables en las grandes vías como la tráquea y bronquios. Los nematodos pulmonares *Dictyocaulus filaria* son largos y macroscópicamente carecen de estructuras morfológicas llamativas. Llegan a alcanzar los 10 cm de longitud y se encuentran alojados en la tráquea y grandes bronquios donde se presentan como verdaderas madejas. La dictiocaulosis no necesita ningún hospedador intermediario y está limitada a zonas y épocas húmedas, siendo clínicamente importante en animales en el primer año de pastoreo. Las lesiones varían según la susceptibilidad del hospedador y del número de parásitos. El síntoma más común es la presencia de tos intermitente, que suele aparecer con el desarrollo de los vermes adultos en la tráquea y los bronquios. La tos es más frecuente tras someter al animal a un esfuerzo. Es frecuente la presencia de moco abundante en los orificios nasales (Meana et al., 2001).

Otro proceso parasitario es la oestrosis, miasis cavitaria producida por los estadios larvarios de *Oestrus ovis*. Dichas larvas se localizan en las fosas nasales, senos paranasales e incluso cuando el número de larvas es elevado pueden llegar a colonizar laringe, faringe, tráquea, ojos y cavidad craneana, produciendo en el hospedador cambios bruscos de la posición de la cabeza, falso torneo, etc. (Reina et al., 2009, Habela et al., 2001).

### Procesos iatrogénicos

Se puede lesionar la pared traqueal tras ser manipulada por una intubación o una traqueotomía pudiendo dar lugar a estenosis.

La identificación electrónica del ganado ovino mediante la aplicación de bolos intraruminales también es otro manejo de especial cuidado puesto que si no se realiza correctamente se puede producir una deglución desviada, introduciendo el bolo en la tráquea con la consiguiente lesión.

El sondaje nasogástrico es una práctica habitual que se lleva a cabo tanto en corderos para alimentación como en animales adultos en casos de timpanismos. Dicha maniobra requiere de una manipulación cuidadosa para introducir la sonda correctamente y evitar así lesiones en la pared traqueal.

### 3.6.2 Trastornos extrínsecos

La tráquea se puede comprimir extrínsecamente por tumores benignos y malignos de las estructuras circundantes (por ejemplo: tiroides, esófago...) así como también por el aumento de tamaño y presión de los nódulos linfáticos adyacentes y estructuras vasculares.

El bocio está causado por una deficiencia nutricional de yodo, por la acción de sustancias bociogénicas halladas en algunas plantas como trébol (*Trifolium repens*), *Panicum coloratum* y *Paspalum dilatatum*, en las semillas de la soja y algodón y plantas de la familia de las crucíferas (*Brassica*), como coles y nabos, y también como consecuencia de los defectos enzimáticos heredados en la biosíntesis de las hormonas tiroideas. La manifestación clínica más frecuente es un aumento claramente visible de las glándulas tiroideas. Los grandes bocios pueden comprimir progresivamente la parte anterior de la tráquea deformando los anillos sin destruirlos.

## Revisión bibliográfica

---

La linfadenitis caseosa es una enfermedad infecciosa contagiosa de los ovinos. Generalmente presenta un curso crónico que se caracteriza por lesiones purulentas caseosas de los nódulos linfáticos y está producida por *Corynebacterium pseudotuberculosis*. Según la localización del nódulo afectado y el tamaño del mismo, como es la forma visceral, los abscesos internos producen compresión de las estructuras adyacentes dando lugar a diferentes cuadros clínicos, como puede ocurrir con afección de los nódulos mesentéricos que pueden comprimir la parte intratorácica de la tráquea dando lugar a tos crónica o dificultad para respirar. A veces sólo es detectable cuando muere el animal.

La enfermedad de los abscesos es una enfermedad producida por la bacteria *Staphylococcus aureus* subespecie *anaerobius*, que puede confundirse con la linfadenitis caseosa o pseudotuberculosis por su clínica, pero a diferencia de esta, los animales que más se ven más afectados son los más jóvenes, especialmente en las corderas de reposición. Esta afección cursa con la formación de abscesos purulentos en el subcutáneo de distintas localizaciones, siendo las regiones parotídea, submandibular o retrofaríngea las más comunes. Estos abscesos, al crecer hacia las capas más profundas pueden comprimir la zona más anterior de la tráquea.





**4.**

**Material y  
métodos**





# Material y métodos

Este estudio clínico y epidemiológico sobre las lesiones traqueales en el ganado ovino se ha llevado a cabo en tres partes. La primera se ha desarrollado en el campo, trabajando en explotaciones comerciales de ganado ovino ubicadas en la comunidad autónoma de Aragón. En estos rebaños, los animales fueron explorados y la información se recogió en unas fichas para su posterior interpretación. Por otra parte, dicha información se complementaba con una encuesta epidemiológica que se realizaba a cada uno de los ganaderos responsables de las explotaciones estudiadas. En una tercera y última parte, muestras de tráqueas de ovejas procedentes de animales de diferentes edades se sometieron a distintas fuerzas de compresión en el laboratorio para realizar un estudio de resistencia y respuesta al aplastamiento.

### **4.1. ESTUDIO DE CAMPO**

Esta primera parte se llevó a cabo con el fin de conocer la prevalencia de las lesiones traqueales en las explotaciones de ovino de carne localizadas en el zona de estudio, así como para determinar la posible relación que pudiera existir entre la aparición dichas lesiones con los factores de manejo y explotación.

El presente estudio fue aprobado por el Comité Ético para Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza con el número PI 12/16.



## Material y métodos

tratamiento que la explotación requiriera mediante la utilización de mangas de manejo, lo que facilita y simplifica mucho el trabajo de exploración.

Las explotaciones que participan en el estudio se nombrarán numéricamente con el objetivo de mantener el anonimato de los ganaderos. En la tabla 4, se presenta un listado en el que constan la asociación de defensa sanitaria ganadera a la que pertenecen las explotaciones, la localización geográfica y censo de cada una de las explotaciones.

Tabla 4: Número de cada explotación, ADSG a la que pertenecían en el momento del estudio, población y censos en el momento de la inspección.

EXPLOTACIÓN	A.D.S.G.	LOCALIZACIÓN	CENSO
1	Hoya-Monegros	El Temple (HU)	601
2	Hoya-Monegros	El Temple (HU)	319
3	Hoya-Monegros	El Temple (HU)	308
4	Hoya-Monegros	Tardienta (HU)	642
5	Hoya-Monegros	Tardienta (HU)	138
6	Hoya-Monegros	Valfonda de Sta Ana (HU)	366
7	Ribera del Ebro	Leciñena (Z)	55
8	Ribera del Ebro	Leciñena (Z)	72
9	Ribera del Ebro	Perdiguera (Z)	487
10	Ribera del Ebro	Montañana (Z)	141
11	Ribera del Ebro	Alfajarín (Z)	784
12	Ribera del Ebro	La Cartuja Baja(Z)	171
13	Ribera del Ebro	Zaragoza (Z)	443
14	Ribera del Ebro	La Muela (Z)	1059
15	Ribera del Ebro	Sobradiel (Z)	311
16	Ribera del Ebro	Pinseque (Z)	499
17	Ribera del Ebro	Pinseque (Z)	51
18	Ribera del Ebro	Mallen (Z)	662
19	Ribera del Ebro	Zuera (Z)	316

## Material y métodos

EXPLOTACIÓN	A.D.S.G.	LOCALIZACIÓN	CENSO
20	Ribera del Ebro	Ontinar del Salz (Z)	105
21	Ribera del Ebro	Ontinar del Salz (Z)	169
22	Ribera del Ebro	Pinseque (Z)	553
23	Ribera del Ebro	Alcalá de Ebro (Z)	911
24	Ribera del Ebro	Monzalbarba (Z)	65
25	Ribera del Ebro	Ontinar del Salz (Z)	186
26	Ribera del Ebro	Garrapinillos (Z)	493
27	Ribera del Ebro	Pina de Ebro (Z)	477
28	Ribera del Ebro	La Muela (Z)	874
29	Ribera del Ebro	Pinseque (Z)	766
30	Hoya-Monegros	Tardienta (HU)	437
31	Ribera del Ebro	Pedrola (Z)	20
32	Ribera del Ebro	María de Huerva (Z)	609
33	Ribera del Ebro	Villamayor (Z)	25
34	Hoya-Monegros	Tardienta (HU)	452
35	Hoya-Monegros	Tardienta (HU)	348
36	Ribera del Ebro	Pinseque (Z)	641
37	Ribera del Ebro	Sobradíel (Z)	30
38	Ribera del Ebro	Juslibol (Z)	180
39	Ribera del Ebro	Gelsa de Ebro(Z)	518
40	Ribera del Ebro	Cabañas (Z)	590
41	Hoyamonegros	Torralba de Aragón (HU)	1371

Para realizar el estudio de campo se ha inspeccionado el 100% de los animales que conforman cada explotación, lo que supone un total de 17.245 animales explorados.

### 4.1.2. Exploración clínica de la tráquea

La exploración se llevó a cabo mediante palpación de toda la zona cervical del animal, desde la laringe hasta la punta del pecho (entrada al tórax). Con ambas manos, se realizaba un recorrido minucioso de toda la tráquea tratando de localizar posibles alteraciones (Ramos y Ferrer, 2007) (imagen 7).



Imagen 7: Exploración de la tráquea mediante palpación (Fuente: Ramos y Ferrer, 2007).

Asimismo, se presionaba los primeros anillos traqueales para provocar la tos y poder detectar a su vez indicios de patología respiratoria. La información queda recogida en las correspondientes fichas que se rellenaron en el momento de la exploración (esquema 3) y que recogen los siguientes datos: identificación individual del animal, edad, localización de la lesión y tipo de lesión.

#### 4.1.2.1. Identificación individual

La identificación individual del animal se obtiene mediante los dispositivos obligatorios legalmente vigentes, para el registro de los animales que consisten en una marca auricular mediante un crotal de color amarillo o sepia y un

## Material y métodos

---

dispositivo electrónico introducido como bolo ruminal o en el crotal. Todo esto se complementa con una base de datos informatizada, el Sistema Integral de Trazabilidad Animal (SITRAN), que integra al Registro General de Explotaciones Ganaderas (REGA), al Registro de Identificación Individual de Animales (RIIA) y al Registro de Movimientos (REMO). Toda esta base de datos es dependiente de la Diputación General de Aragón, en la cual se deben encontrar inscritos todos los animales de la cabaña ganadera ovina aragonesa a partir de los seis meses de su nacimiento y, en cualquier caso, antes de que el animal abandone la explotación en la que ha nacido. Con carácter excepcional, las autoridades competentes pueden ampliar el plazo hasta nueve meses para los animales criados en sistemas de ganadería extensiva (MAPAMA, 2018).

### **4.1.2.2. Edad**

La edad individual de los animales se obtiene con relativa exactitud gracias al Registro de Identificación Individual de Animales (RIIA) y de forma visual *in situ* con la dentición en caso de duda.

### **4.1.2.3. Localización**

Para determinar la localización de la lesión se han trazado dos líneas imaginarias quedando así el cuello dividido en tres tercios: anterior, medio y posterior. A su vez, a la hora de determinar exactamente la lesión se tuvieron en cuenta las localizaciones mixtas, es decir, lesiones que se extendían más allá de una sola zona, como la zona anterior-media, la media-posterior; o también podían verse a la vez afectadas la anterior y la posterior sin ningún tipo de alteración en la zona media (imagen 8).

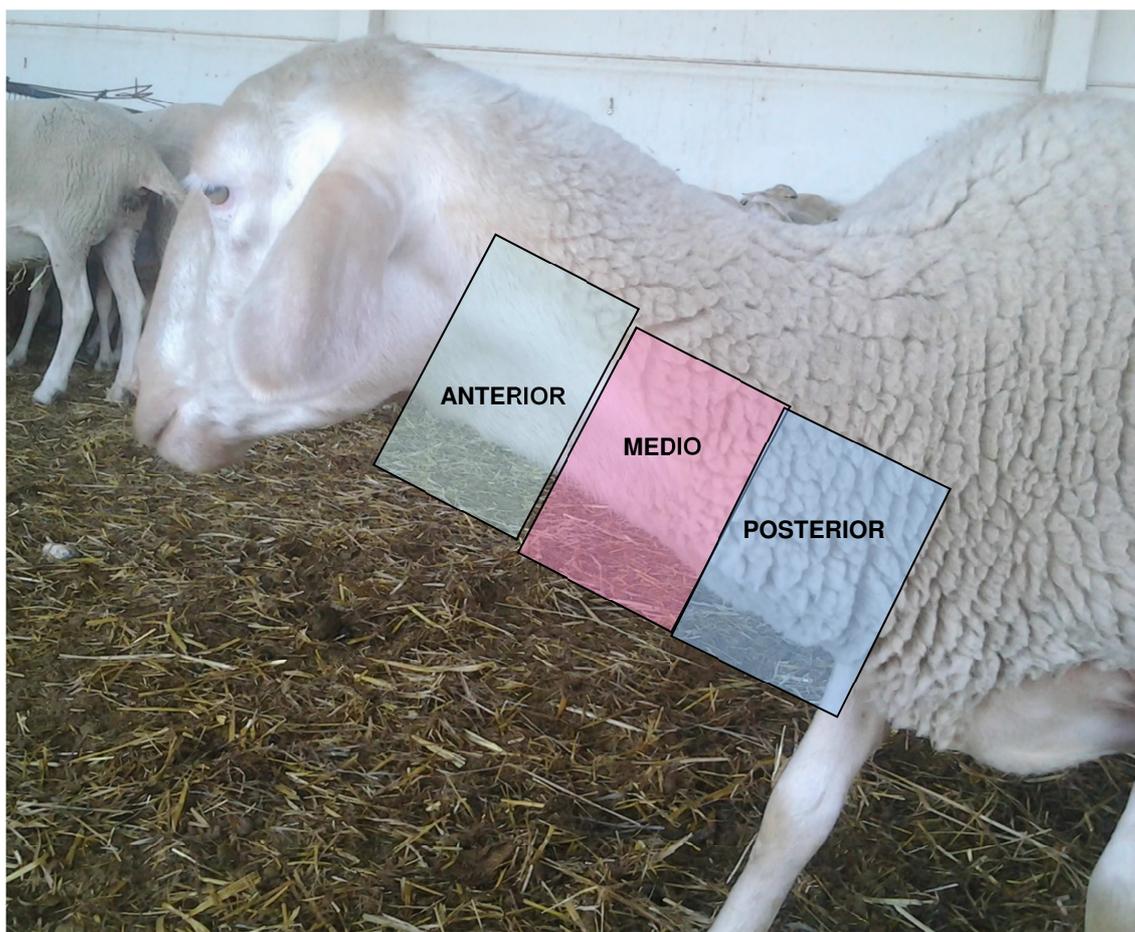


Imagen 8: División del cuello para ubicar la porción lesionada.

#### 4.1.2.4. Tipo de lesión traqueal

Para poder determinar el tipo de lesión, únicamente mediante palpación puesto que se hacía *in vivo*, se precisó un trabajo previo de aprendizaje, que consistió en palpar tráqueas con lesiones en animales destinados a necropsias, de forma que más tarde se podía comprobar mediante visión directa el tipo de lesión que presentaba una vez el animal había muerto.

De este modo se pudo diferenciar el grado de afección o estenosis traqueal. Estas afecciones van desde la afectación de un solo anillo cartilaginoso hasta la estenosis total de la tráquea.

## Material y métodos

---

La lesión registrada mediante palpación correspondía con alguno de los siguientes tipos:

- 1 anillo: se presenta como un pico saliente.
- 2 anillos: el pico es más amplio.
- 3 anillos: ya no es tanto un pico como una zona aplanada de unos 4 cm.
- 4 anillos: la lesión es bastante evidente, superando los 4 cm.
- Total: estenosis total de la tráquea o tercio afectado.

A parte de las lesiones se registraban también otras observaciones: si la palpación producía dolor, tos, dificultad respiratoria, etc.

## Material y métodos

### ESTUDIO DE LA PREVALENCIA DE LESIONES TRAQUEALES EN OVINO

**Fecha:**

**Explotación:**

**Censo:**

	Identificación	Edad	Localización	Tipo de lesión	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Figura 8: Ficha clínica para la recopilación de datos de la exploración de los animales en el estudio de campo.

### **4.2. ENCUESTA EPIDEMIOLÓGICA**

Para el análisis de los factores que pudieran favorecer el desarrollo de estas lesiones se realizó una encuesta epidemiológica a cada uno de los ganaderos que participaron en el estudio, en la que se recogían las principales características de cada una de las explotaciones (figura 9). Algunas de estas variables que explicamos a continuación fueron introducidas en la base de datos para poder llevar a cabo, posteriormente, el correspondiente análisis estadístico.

#### **4.2.1. Raza**

Las razas presentes en las explotaciones que participaron en el estudio fueron las siguientes: Rasa Aragonesa, Raza Bilbilitana, INRA 401 y Salz. En la mayoría de las ganaderías no se trabaja con una raza concreta, por lo que las incluimos dentro de lo que denominamos conjunto mestizo, que consiste en la presencia de animales de diferentes razas y sus posibles cruces.

- Al conjunto mestizo pertenecían los rebaños: 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40.
- Las explotaciones con el rebaño compuesto básicamente por animales de raza aragonesa eran: 2, 3, 9, 14, 28, 30, 34 y 41.
- Los rebaños compuestos por la raza raza roya bilbilitana corresponden a las explotaciones: 15, 23, 38.
- Las explotaciones 18 y 21 tenían el censo compuesto por animales de las razas INRA 401 y Salz.

#### **4.2.2. Sistemas de producción de las explotaciones**

La alimentación es el factor de mayor coste en el ganado ovino, pues representa entre el 70% y 80% de los costes anuales totales, dependiendo del sistema de producción, y en los últimos años el aumento del precio de las materias primas ha supuesto un incremento muy importante de los mismos. Por ello, una de las

## Material y métodos

---

estrategias llevadas a cabo para abaratar costes y optimizar la explotación es utilizar los recursos naturales con el pastoreo. Más del 75 % de la superficie agrícola útil de la península ibérica (dehesas, pastizales, prados, eriales, matorrales, rastrojeras...) es susceptible de ser aprovechada por pastoreo (Espejo et al., 2009). En función del grado de intensificación de las explotaciones y el aprovechamiento de los recursos pastables, los sistemas de producción los podemos dividir en extensivos, sistema clásico de explotación del ganado ovino que se caracteriza por el aprovechamiento de dichos recursos, o en sistemas intensivos, donde los animales se mantienen en la granja permanentemente y son alimentados en pesebre con el objetivo de obtener el máximo beneficio productivo posible. Entre ambos sistemas nos encontramos con el sistema semi-intensivo, en el que los animales están en pastoreo, aprovechando los recursos pastables, el máximo tiempo posible, en los momentos considerados como menos productivos del animal, pero garantizando a su vez las necesidades mínimas requeridas en los periodos críticos como son la gestación y la lactancia.

Hay un gran interés económico en optimizar el pastoreo, por lo que el sistema de producción más utilizado en nuestras granjas es el sistema semi-intensivo, con estabulación generalmente en la etapa al término de la gestación y durante el periodo de lactación. El tiempo que puede pasar el ganado estabulado generalmente es muy variable, siendo diferente entre distintas explotaciones e incluso, dentro de una misma explotación, donde la disponibilidad de los recursos pastables es un factor primordial a tener en cuenta para determinar dicho periodo.

Las explotaciones intensivas son aquellas en la que, por motivos de productividad, se trabaja con animales pertenecientes a razas prolíficas para obtener mejores rendimientos empresariales, aportando los medios óptimos necesarios, como alimento, instalaciones, etc. En nuestro estudio sólo una explotación practicaba un sistema intensivo, la 18, el resto eran explotados con sistemas de producción semi-intensivos.

### 4.2.3. Planificación reproductiva

La correcta planificación reproductiva es fundamental en las explotaciones ovinas ya que todos los manejos, tratamientos, factores de producción, previsión de gastos y obtención de beneficios y demás actuaciones se organizarán a partir del calendario que se elabore. Así, la previsión del calendario reproductivo permitirá adelantarse a la compra de materias primas para la alimentación suplementaria, prever la contratación de mano de obra extra, conocer los momentos de venta, y por lo tanto de ingresos, preparación de la paridera con jaulas de adopción, aumento de comederos, desinfección de lotes, etc. Son muy numerosos los factores que se tienen en cuenta a la hora de elegir un ritmo reproductivo u otro, y varía mucho de una explotación a otra. El factor racial, la aptitud productiva, y el precio del cordero parecen ser los únicos factores a tener en cuenta, pero la ganadería ovina en Aragón, está profundamente ligada a la tradición y a las prácticas agrícolas de tal modo que las fiestas patronales y el calendario agrícola van a condicionar las preferencias del ganadero a la hora de seleccionar los momentos clave como es la época de parición (Abecia y Forcada, 2010).

Existen otros factores ligados a la propia explotación que determinarán la planificación reproductiva idónea, y son precisamente los que nos interesan y cuyos datos nos hemos dedicado a recopilar, como son las instalaciones, los metros útiles disponibles, no sólo para partos sino también para el cebo, y la posibilidad de dividir el rebaño en lotes.

Un gran número de explotaciones llevaba un sistema tradicional basado en la monta continua, no existen épocas concretas de parto ya que los machos y hembras comparten el mismo espacio sin restricciones durante todo el año. Este sistema da lugar a partos durante todo el año que se van a ver influenciados básicamente por el fotoperiodo y la nutrición.

## Material y métodos

---

La planificación de la reproducción en las diferentes explotaciones es como sigue:

- Casi la mitad de los rebaños estudiados no realizaban ningún tipo de manejo reproductivo. Esto se daba en las explotaciones de monta continua: 5, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 31, 33, 37, 38.
- Una explotación organizaba una única parición al año, la 6, generalmente para concentrar la venta de corderos en época de precios más caros.
- Ninguna explotación realizaba dos pariciones al año.
- Tres pariciones al año, que implica cubriciones de dos meses de duración y dos meses de descanso, se llevó a cabo en las explotaciones 2, 3, 27, 30 y 35.
- Cuatro épocas de parto al año se consigue con cubriciones consecutivas de 45 días de duración y 45 días de descanso. Esto se llevaba a cabo en las explotaciones: 9, 11, 14, 19, 21, 22, 28, 32, 36, 39 y 40.
- El sistema tipo “Star”, caracterizado con cinco épocas de parición, lo llevaron a cabo las explotaciones: 1, 4, 18, 34 y 41.

### 4.2.4. Desvieje de animales

El cuándo y cómo del desvieje de los animales responde simplemente a un interés económico y productivo. Generalmente los animales no productivos se desechan a matadero. El desvieje se puede realizar basándonos en la edad del animal o atendiendo a su productividad. Generalmente son los animales mayores de 8 años, cuya productividad ya no es la óptima y hace que no sean rentables para la explotación, los que se eliminan de la explotación. Aunque también hay un tanto por ciento de animales jóvenes con algún problema de tipo sanitario que hacen que ya no sean productivos y son descartados tempranamente. Así mismo, nos hemos encontrado con ganaderos que no realizaban ningún tipo de desvieje. Independientemente de la causa, nos referiremos a la eliminación de los animales como “desvieje”, aunque no sea la edad el motivo principal.

### **4.2.5. Reposición**

La tasa de reposición corresponde al número de hembras dejadas en el rebaño para reproductoras cada año, necesarias para que no disminuya el número de animales del rebaño (censo ganadero). Este índice suele ser de un 15-16% del rebaño dependiendo de la vida útil de las ovejas; 13-14% por desvieje y 2% por muertes (Delgado y Gutiérrez, 2009).

### **4.2.6. Alimentación en estabulación**

Se tuvo en cuenta si el ganadero estabulaba a los animales en el periodo anterior y/o posterior al parto y durante cuánto tiempo estaban en las instalaciones sin salir a pastoreo con aporte de alimentación.

Las temporadas que pasan los animales en estabulación reciben una alimentación que variará mucho según explotaciones y disponibilidad de la misma. Dicha alimentación va desde el empleo de productos cereales como cebada o maíz, guisante, alfalfa en rama o en granulo y paja, hasta el uso de subproductos procedentes de fábricas conserveras que se administran gracias a carros mezcladores.

En varias explotaciones estudiadas, las ovejas, tras el parto y tras asegurar el encalostrado de los corderos recién nacidos, salen al campo para aprovechar los recursos pastables con el resto del rebaño y, al atardecer, se encierran en lotes con los corderos donde son suplementadas para favorecer la crianza. Esto implica que el alojamiento ovino sea suficiente y funcional, de modo que permita un desplazamiento continuo de los animales desde el interior de las instalaciones hacia el exterior, separación de las madres de los corderos lactantes, acceso al alimento de todas las madres al mismo tiempo, etc.

Otras explotaciones, para garantizar un correcto crecimiento y desarrollo de los corderos, no permiten el retorno de las madres al campo hasta que no llegue el momento del destete. En este caso, los lotes son cerrados, teniendo en cuenta

## Material y métodos

---

únicamente los metros lineales de comederos necesarios para la alimentación según el volumen del lote en cuestión.

Prestando atención al momento de la estabulación en el periparto de las ovejas, podemos clasificar las explotaciones de la siguiente manera:

- Las explotaciones que estabulaban a las ovejas preñadas unos días o semanas antes de la época de partos eran la 4, 9, 11, 18, 21, 27, 28, 34 y 41.
- Las explotaciones que no separaban a las ovejas del rebaño hasta el momento del parto eran: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40.
- En algunas explotaciones tras el parto, las ovejas paridas salían a diario al campo a comer y se volvían a estabular por la tarde-noche para suplementarlas y atender a los corderos. Esto se practicaba en las explotaciones: 7, 10, 12, 13, 15, 17, 19, 20, 24, 26, 31, 33, 36 y 40.
- Generalmente las ovejas paridas permanecían en estabulación hasta el momento del destete, esto lo hacían en las siguientes explotaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 14, 16, 18, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 37, 38, 39 y 41.

### **4.2.7. Tipo de comedero**

El material y modelo de comederos utilizados por los ganaderos es de lo más variado, predominando el modelo típico de madera. También se han utilizado bañeras y cualquier otro recipiente que pueda permitir una administración rápida y fácil del alimento. Tres explotaciones disponían también de comederos de obra en los que distribuían el alimento mediante un sistema de sinfines o con carretilla.



Imagen 9: Distintos modelos de comederos utilizados en los rebaños de ovino inspeccionados en nuestro estudio.

### **4.2.8. Disponibilidad y desinfección del agua**

El acceso al agua es vital tanto en cantidad como en calidad, por lo que se tuvo en cuenta también el número de puntos y sistemas de distribución de agua que había en las explotaciones y el origen de la misma.

La desinfección del agua de bebida de los animales de la explotación en algún momento del año se llevaba a cabo en diez explotaciones: 6, 9, 11, 18, 21, 24, 26, 27, 29, y 41. El resto de explotaciones no realizaban desinfección alguna en ningún momento.

### **4.2.9. Desinfección de la nave**

Asimismo, prestamos atención a la limpieza de las instalaciones en la época de partos especialmente para evitar problemas infecciosos y por higiene. Solamente ocho explotaciones no desinfectaban nunca y eran las identificadas con los números: 15, 17, 20, 25, 31, 33, 34 y 37.

### **4.2.10 Valoración general de la explotación**

Viendo la gran cantidad de factores que entraban en juego, se tuvieron en cuenta todos ellos dotando a cada uno de esos factores con una puntuación. Posteriormente, dicha puntuación se sumaba y se obtenía una valoración para cada ganadero. De esta forma, se podía calificar y clasificar las explotaciones como buenas o malas, es decir, cualificadas o poco cualificadas. Los factores y la puntuación dotada a cada uno de ellos fue la siguiente:

- Si desviejaba se le otorgaba dos puntos, si no desviejaba, un punto.
- Si dejaba reposición dos puntos, si no dejaba, un punto.
- Según el sistema de pariciones, la monta continua suponía un punto, la práctica de dos y tres pariciones suponían 2 puntos y, por último, cuatro pariciones y el sistema tipo “Star” se puntuó con 3 puntos.
- De acuerdo a si separaba las ovejas preñadas antes del parto, 2 puntos si lo llevaba a cabo y un punto si continuaban con el vacío hasta el momento del parto.
- Respecto a la estabulación después del parto, aquellas explotaciones que estabulaban las paridas después del parto obtenían dos puntos y los que no un punto.
- En relación a si se desinfectaba el agua, dos puntos y si no la desinfectaba un punto. Lo mismo ocurría con las naves.
- Si suministraba corrector al ganado dos puntos, si no lo suministraba 1 punto.

## Material y métodos

---

-Teniendo en cuenta el criterio técnico y profesional de otros compañeros que conocen dichas explotaciones las valoraron del uno al cinco donde uno era la peor calificación técnica y cinco la mejor.

La puntuación máxima que se podía obtener era de 24 puntos, mientras que la puntuación mínima era de 10 puntos.



## Material y métodos

MODO DE DAR DE COMER (a cubos, con carretillo, con tractor, con animales, sin animales...):.....  
.....  
.....

CUÁNTAS VECES ECHA DE COMER AL DÍA:.....  
.....

PAJA:.....

TIPO DE COMEDEROS: Madera doble cara o simple: .....  
Chapa doble cara o simple: .....  
Obra doble cara o simple: .....  
Tubería doble cara o simple:.....  
Otras:.....

ALTURA COMEDEROS AL SUELO:.....

ALTURA COMEDEROS A LA COMIDA:.....

ANCHURA COMEDEROS:.....

METROS LINEALES DE COMEDERO/OVEJA:.....

**AGUA (EN PARIDERA)**

APORTE CONTINUO O DISCONTINUO:.....

Nº BEBEDEROS:.....

LOCALIZACIÓN BEBEDEROS:.....

TIPO BEBEDEROS:.....

LIMPIEZA DE BEBEDEROS: SI:.....NO:.....CADA CUÁNTO: .....

DESINFECCIÓN:.....

**AGUA (EN CAMPO)**

HAY: SI.....NO:.....

LUGAR (canal, cubas, bebederos...) :.....CUÁNTAS VECES: .....

**VALORACIÓN TÉCNICA**

PROFESIONAL 1:.....

PROFESIONAL 2:.....

PROFESIONAL 3:.....

FOTOS, DIBUJOS Y MEDIDAS DE COMEDEROS Y BEBEDEROS:

Figura 9: Encuesta epidemiológica realizada a todos los ganaderos.

### 4.3. ESTUDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El uso y el comportamiento de los materiales está basado en gran parte en sus propiedades mecánicas, es decir, en el comportamiento que manifiesta el material al ser sometido a la acción de distintas cargas exteriores de cualquier tipo y naturaleza. Ante una acción exterior los materiales reaccionan deformándose para contrarrestar la perturbación aplicada, esta deformación comienza siendo elástica si la tensión aplicada es pequeña. A medida que aumenta la tensión la deformación elástica es más grande hasta llegar a una máxima de deformación elástica donde el tejido cede (Serrano, 2017).

El estudio de resistencias a la compresión se realizó en colaboración con el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A).

#### 4.3.1. Descripción del equipo

El equipo utilizado para la realización de los ensayos de tracción uniaxial es una máquina Instron 5548 MicroTester (imagen 10), diseñada específicamente para ensayos uniaxiales en tejidos biológicos. Se trata de una máquina electromecánica de precisión para ensayos con control en carga o en desplazamiento, con un rango de cargas desde  $1mN$  hasta  $2kN$  de fondo de escala, es decir, lleva a cabo ensayos con fuerzas muy bajas con muy alta resolución de desplazamiento, y la velocidad máxima de desplazamiento es de  $1.500\text{ mm/min}$ . En esta máquina es posible realizar diversos ensayos mecánicos, tanto en pruebas estáticas como dinámicas, tales como ensayos de tracción, compresión, flexión relajación y fluencia, entre otros, en una amplia variedad de materiales, especímenes y componentes (Ramírez, 2011).

## Material y métodos

---

En un ensayo uniaxial, la muestra de material se coloca sobre la placa para posteriormente aplicar una presión provocada por el actuador, mientras la fuerza se mide por medio de una célula de carga. La célula de carga convierte la fuerza en una señal eléctrica que el sistema de control traduce y almacena.



Imagen 10: Máquina Instron 5548 MicroTester utilizada para el estudio de compresiones.

La máquina incluye aplicaciones informáticas para el control y análisis de los datos recogidos, ya que los agrupa en tablas y gráficas fácilmente manejables posteriormente. Para el post-procesado de los parámetros solicitados al inicio del ensayo y la determinación de las propiedades elásticas necesarias para el modelo computacional, se empleará la herramienta de cálculo Microsoft Excel y el programa Instron Bluehill. Como se trata de ensayos donde los valores de desplazamientos y deformaciones son muy pequeños, y que cualquier error en la

## Material y métodos

---

medición por pequeño que sea puede ser muy significativo, es necesario que todas las máquinas y utillajes utilizados sean minuciosamente calibrados, para que los resultados no se alejen excesivamente de los valores que deben de obtenerse.

Este equipo fue puesto a punto y manipulado gracias a la colaboración del equipo técnico a cargo de Estefanía Peña de la división de Bioingeniería, del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza.

### 4.3.2. Obtención y preparación de las muestras

Para dicho estudio se utilizaron 35 tráqueas, sin alteración alguna, procedentes de animales de distintas edades sacrificados en necropsias. Las tráqueas se extrajeron de los animales seccionando desde el primer anillo traqueal hasta la bifurcación del bronquio traqueal. Posteriormente se limpiaron de grasa y otros tejidos que pudieran complicar o falsear la realización del ensayo. Las muestras se guardaban en el congelador hasta el día previo de los ensayos.

Una vez las tráqueas limpias y descongeladas se dividieron en tres porciones anterior, media y posterior, de unos 10 anillos aproximadamente cada una, desechando la última porción que anatómicamente queda situada en el interior de la caja torácica, y por lo tanto fuera del alcance de la exploración *in vivo*.



Imagen 11: Muestra procesándose para someterla a la prueba de fuerzas de compresión.

## Material y métodos

### 4.3.3. Protocolo de ensayo y recogida de datos

Cada muestra llevaba un código que definía la edad del animal del cual se obtuvo y la parte anatómica de la tráquea a la que correspondía para poder manejar posteriormente con facilidad todos los datos.

Para el estudio, se tomaron medidas de todos y cada uno de los 105 trozos de tráqueas que participaron en el ensayo con un calibre. Las medidas tomadas fueron el diámetro de la tráquea, el grosor de la pared de la tráquea en ambos lados, denominado espesor A y espesor C y el grosor en su parte más ventral, que corresponde al espesor B (imagen 12).

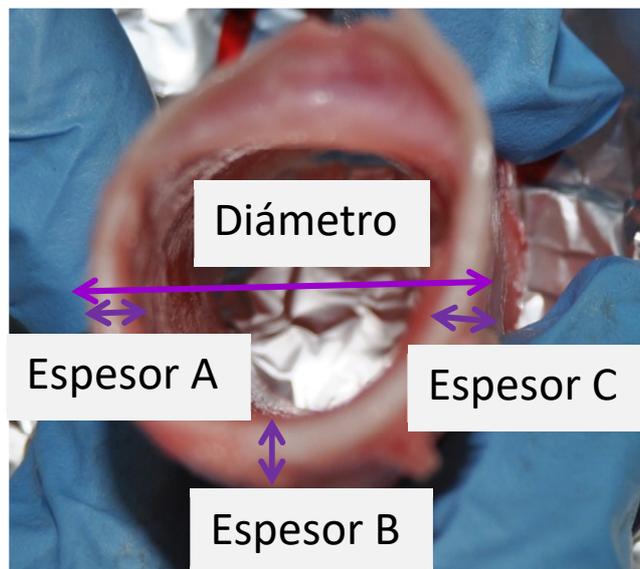


Imagen 12: Medidas tomadas de cada sección de tráquea.

Tras las mediciones y su correspondiente anotación, cada muestra fue colocada en la placa justo debajo de la mordaza móvil en posición perpendicular y sobre su parte dorsal, es decir, sobre el lugar de unión del músculo traqueal con los anillos traqueales (imagen 13). Si fuera necesario, para una mejor colocación y con el fin de evitar deslizamientos la muestra podía ser puesta sobre una superficie de papel de lija.

## Material y métodos

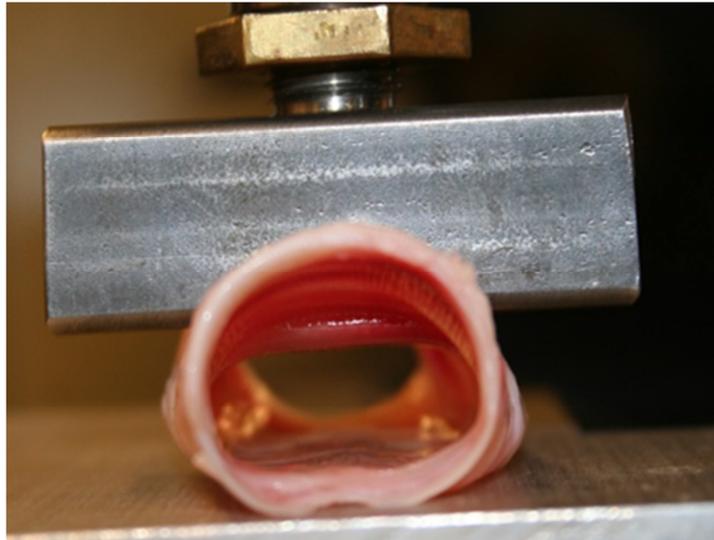


Imagen 13: Sección de tráquea sometida a presión.

Una vez estabilizada la muestra en su posición, se bajaba la mordaza la distancia necesaria hasta quedar en contacto con la porción de tráquea a estudiar. A continuación, se procedía a la realización del ensayo efectuando un ciclo de carga hasta la obturación total de la luz traqueal a una velocidad constante de 5mm/minuto.

El software de Instron utilizado (imagen 14) durante los ensayos nos proporcionaba una gráfica carga-extensión en tiempo real. Además, al finalizar el ensayo, nos facilitaba los datos de carga, extensión y deformación en cada instante de tiempo recogido (10 capturas por segundo).

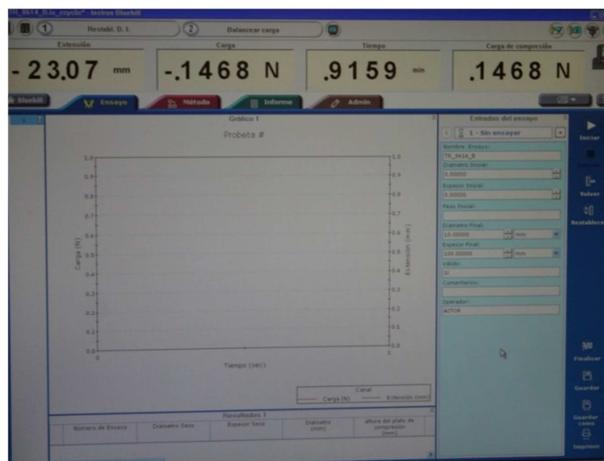


Imagen 14: Software para la recogida y análisis de datos de la máquina Instron 5548 MicroTester.

### 4.4. ESTUDIO ESTADÍSTICO

Para el estudio estadístico, con el objetivo de definir las variables se ha recurrido a técnicas de estadística descriptiva, también para realizar histogramas y recuentos de frecuencia, todo esto según las características de las variables.

La prueba de chi a cuadrado se ha utilizado para poner en relieve las relaciones entre las variables cuantitativas. Para ello, se empleó la corrección de Fisher por si al tomar los valores hubiera menos de cinco animales. Siempre que fue posible se calculó el riesgo (tablas 2x2).

Ya que las variables cualitativas del estudio presentaban una distribución normal, para poder determinar la distribución de variables cuantitativas de acuerdo con algunas características cualitativas se realizaron estudios de t de Student. En estos casos, para definir la significación de los resultados, se consideró la prueba de homogeneidad de las varianzas de Leven.

También se utilizaron técnicas de agrupamiento y clasificación como el subprograma tree de SPSS 20.0. En este caso se realizó la prueba CHAID con una probabilidad  $<0,05$  para validar y determinar cada nodo.

Para finalizar, se realizó una regresión logística binaria para determinar los factores involucrados en la presentación de lesiones traqueales. Esta regresión se llevó a cabo considerando como categorías todas las variables de tipo cualitativo del estudio y tomando como referencia la primera de las categorías de cada una de ellas. Así mismo, se llevó a cabo el estudio valorando la probabilidad de la lesión obtenida en el mismo para determinar el cutoff de clasificación. Se utilizó el método “Forward conditional” aplicando una significación a la entrada de 0,05 y para la salida del modelo de 0,10.



**5.**

**Resultados**





## Resultados

La exposición de los resultados se hará de la misma forma en que se ha presentado el capítulo de material y métodos. En primer lugar, se expondrán los datos obtenidos en el trabajo de campo durante los manejos, a partir de los animales estudiados se creará un perfil lesional. A continuación, dichas lesiones se relacionarán con los posibles factores de explotación que hayan podido influir en el desarrollo de las mismas. Por último, se estudiarán los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión de las distintas porciones traqueales realizadas en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) en colaboración con el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

### **5.1. ESTUDIO DE CAMPO**

En esta parte del estudio se visitaron un total de 41 explotaciones ovinas, situadas en la Comunidad Autónoma de Aragón en las provincias de Zaragoza y Huesca, realizando la palpación de la porción cervical de la tráquea en toda su extensión. En todas las explotaciones se revisaron el 100% de los animales que componían el rebaño, totalizando 17.245 animales. De todos ellos, 2.075 animales presentaron algún tipo de lesión en la tráquea, lo que supone un 12% de animales afectados respecto al total (figura 10). De las 41 explotaciones analizadas, en todas ellas se detectaron animales con alteraciones traqueales.

## Resultados

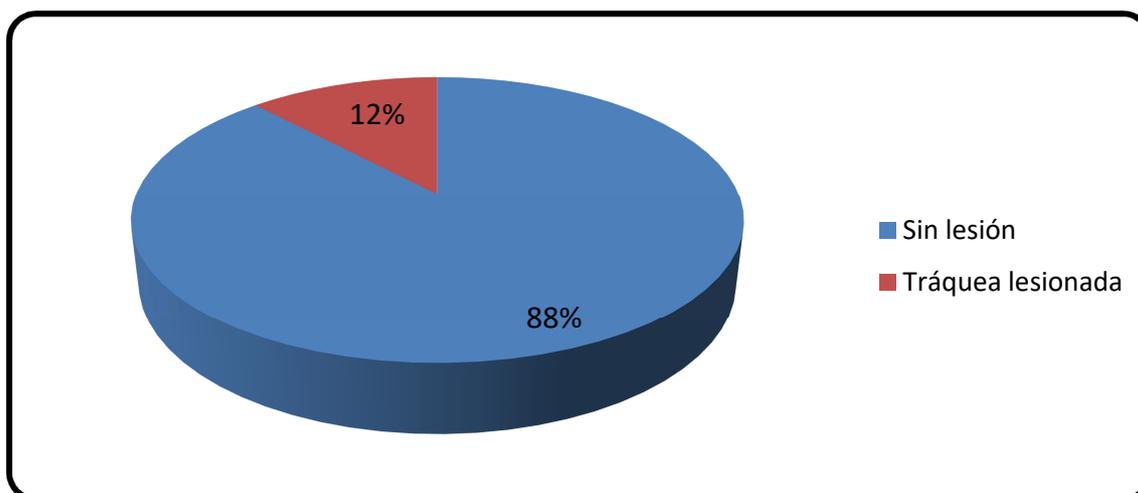


Figura 10: Prevalencia individual de lesiones traqueales.

### 5.1.1. Prevalencia de lesión traqueal según localización

A la hora de estudiar la localización de la lesión, no podemos centrarnos únicamente en las tres zonas citadas en material y métodos, anterior, media y posterior, sino que también la lesión puede afectar a más de una zona en el mismo animal, por lo que para el estudio estadístico se definió una cuarta porción denominada zona mixta.

De las 2.075 ovejas con alteración traqueal, 1.456, es decir, el 70,20% tenían la lesión localizada en una sola zona, sin embargo, 619 animales, el 29,80% tenían lesión en más de una porción.

Especificando todas y cada una de las zonas afectadas, el número de animales con lesión en cada una de las localizaciones estudiadas, expresado en valores absolutos, fue de 208 animales con afección en la zona anterior, 706 en la zona media, 542 en la zona posterior, 111 ejemplares con las zonas anterior y media afectadas a la vez, 5 anterior-posterior, 297 media-posterior y con lesiones en las tres porciones de la tráquea en 206 animales. Podemos apreciar su distribución y porcentajes en la figura 11.

## Resultados

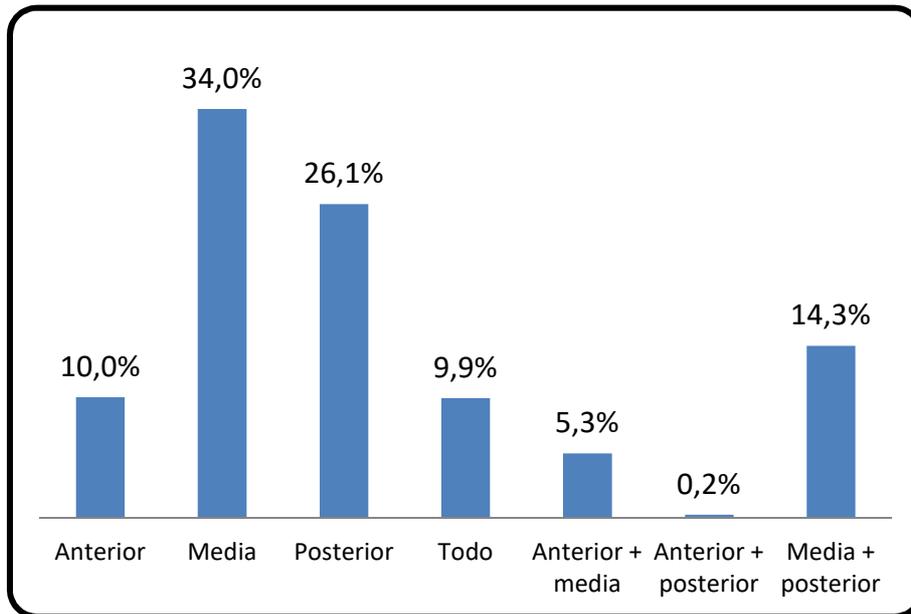


Figura 11: Distribución de frecuencias según porcentajes de lesiones traqueales por zonas.

Deteniéndonos en la distribución de las lesiones, pudimos observar que la mayoría de las lesiones se localizaron en la parte central del cuello (34%), en la posterior se localizaron el 26% y en la anterior el 10%, existiendo un 30% de tráqueas con lesiones en varias zonas a la vez. De este modo, pudimos observar que la zona media y posterior supone el 60% y la zona anterior del cuello, la que abarca los primeros anillos traqueales, fue la que con menos frecuencia se presentaba alterada (Figura 12).

## Resultados

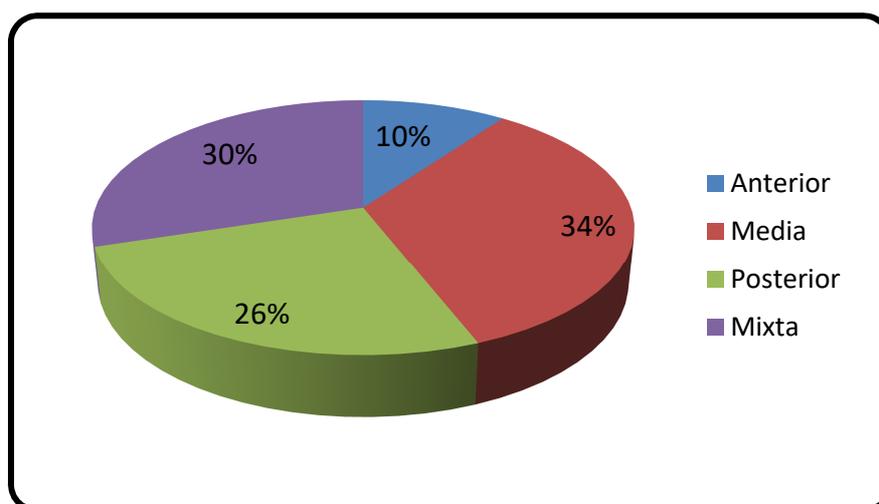


Figura 12: Distribución de frecuencias en porcentajes según la localización de las lesiones traqueales.

En la siguiente tabla podemos ver detalladamente los resultados obtenidos respecto a la localización de la lesión, tanto en valores absolutos como en prevalencia.

Tabla 5: Porcentajes y valores absolutos de animales lesionados según la localización de la lesión.

Localización	Nº animales afectados	Prevalencia según el total	Prevalencia según lesionados	Suma prevalencias
Anterior	208	1,2%	10,02%	<b>70,16%</b>
Media	706	4,1%	34,02%	
Posterior	542	3,1%	26,12%	
<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>1,2%</b>	<b>9,93%</b>	
Anterior-Media	111	0,6%	5,35%	<b>29,84%</b>
Anterior-Posterior	5	-	0,24%	
Media-Posterior	297	1,7%	14,32%	
<b>Total</b>	<b>2.075</b>	<b>12%</b>	<b>100%</b>	

## Resultados

### 5.1.2. Prevalencia de lesión traqueal según tipo de lesión

Respecto al tipo de lesión, refiriéndonos por tipo a la extensión de la afección, que se puede traducir en gravedad, lo clasificamos en función del número de anillos que se pueden apreciar afectados. La alteración más frecuente fue la de 2 anillos con un 25,97% de animales afectados, seguida por la lesión de 3 o 4 anillos con un 23,47% de los individuos. En la figura 13 podemos observar el porcentaje que representa cada tipo de lesión.

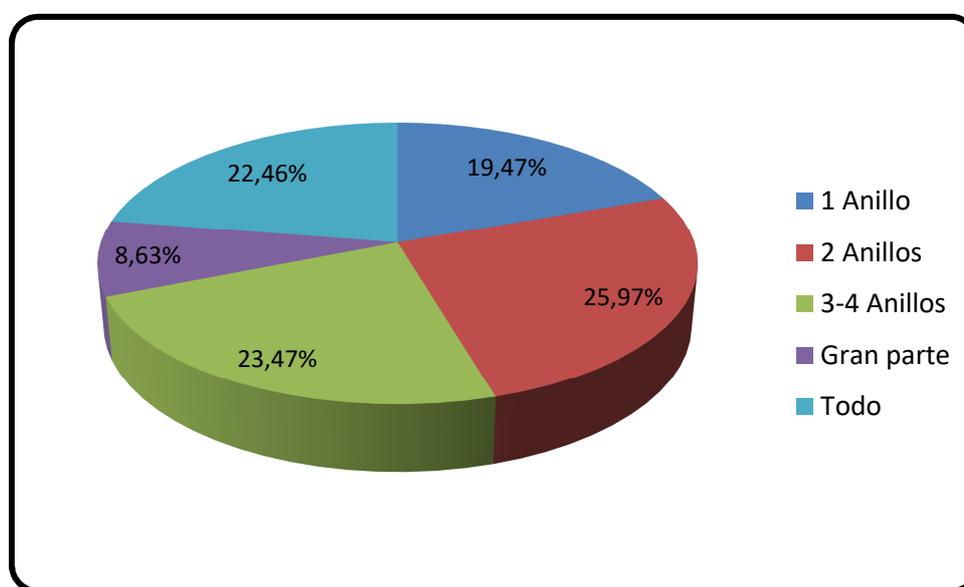


Figura 13: Distribución de frecuencias en porcentajes según el tipo de lesiones traqueales.

Relacionando la localización y el tipo de lesión pudimos comprobar que la lesión más común era la localizada en la zona media y en la que se veían afectados entre 3 y 4 anillos traqueales (figura 14).

## Resultados

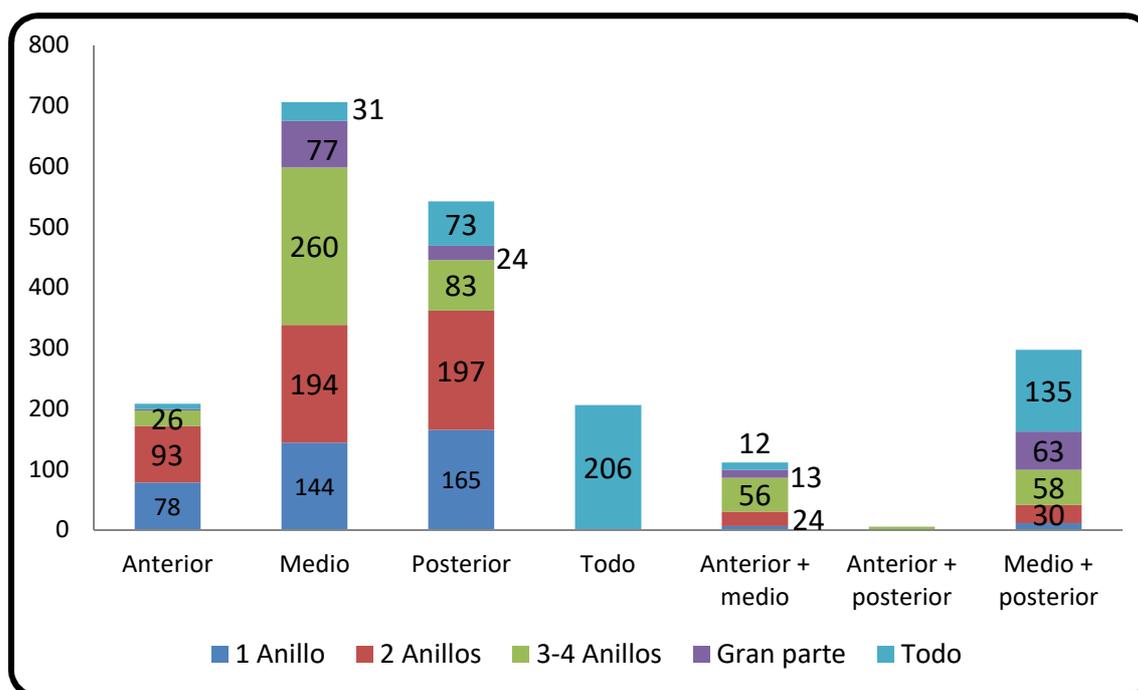


Figura 14: Número de animales con lesiones traqueales según localización y tipo de lesión.

Ahora vamos a analizar, en cada localización, que tipo de afección fue la más común (figura 14):

- Alteraciones en la zona anterior.

De los 2.075 animales con algún tipo de afección, 208 (10%) presentaban lesión sólo en la zona anterior, siendo la extensión afectada más común la de 2 anillos, con un 4,5% (93 animales), seguida de la lesión caracterizada por un pico que concuerda con lesión en un solo anillo traqueal, con un 3,8%, que corresponde a 78 animales. La afección menos común fue la que afectaba a casi toda o toda la zona anterior, no llegando ni a un 1%.

- Alteraciones en la zona media.

Fue la zona más afectada con 706 animales con lesiones (34%) del total de los revisados. La lesión más común fue la que abarca 3-4 anillos con un 12,5% (206) seguida de la de 2 anillos con un 9,3% (194), 1 anillo con un 6,9% (144), gran parte con un 3,7% (77) y por último, con toda la zona media afectada en tan solo 31 animales que representa el 1,5 %.

## Resultados

---

- Alteraciones en la zona posterior.

La zona posterior fue la segunda zona más dañada con un 26,1%, que afectó a 542 animales. En esta zona lo más común fue la lesión que atañe a 2 anillos con un 9,5% (197), seguida por la de un solo anillo con un 8% (165), relegando la lesión típica de 3-4 anillos a una tercera posición con un 4% (83). Hay que destacar que hay muy poca diferencia respecto a los animales que tenían toda la zona posterior afectada, que asciende hasta en un 3,5% (73).

- Alteraciones en más de una zona.

Como hemos dicho, de las 2.075 ovejas con alteración traqueal, 1.456 animales tenían la lesión localizada en una sola zona, sin embargo, 619 tenían afectadas más de una zona. En este último grupo lo más normal era encontrar lesionada la zona media-posterior, con un 14,3% (297 animales) seguida de toda la tráquea afectada con un 9,9 % (206 animales). La lesión más común era la que recaía sobre toda la zona media-posterior, afectando a 135 animales, lo que supone un 6,5%, seguida de una gran parte dañada, sin ser total, con un 3% (63).

Las zonas anteriores y posteriores lesionadas simultáneamente, lo que se traduce en 2 lesiones independientes, son el hallazgo menos común con tan solo un 0,2 % (5 animales).

### **5.1.3. Prevalencia de lesión traqueal por rebaños**

Se trabajó en un total de 41 explotaciones, en cada una de las cuales se examinó el 100% del efectivo, englobando un total de 17.245 animales. En la figura 15 se puede observar cómo se repartieron los efectivos por explotaciones.

## Resultados

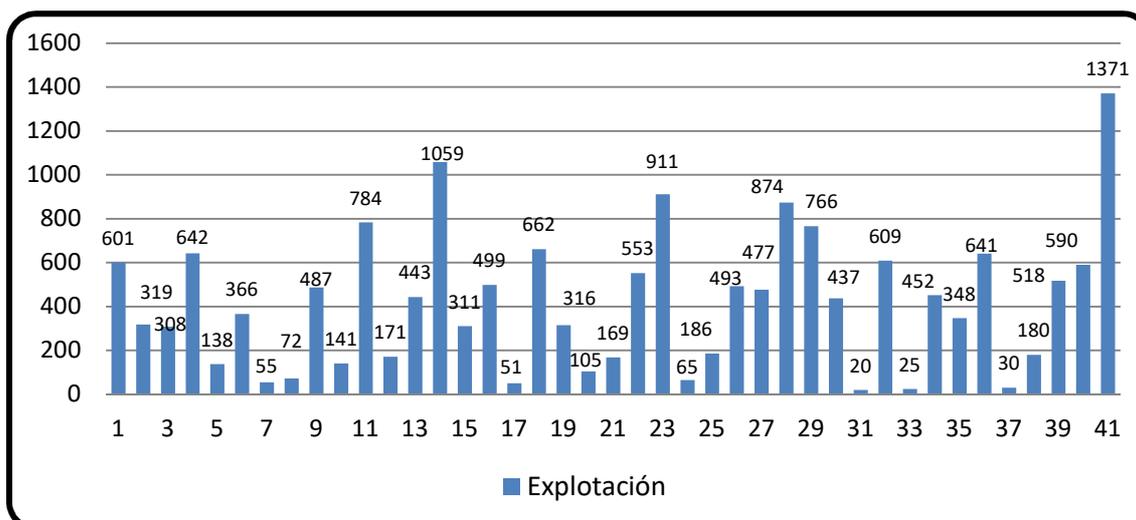


Figura 15: Distribución del censo de animales estudiados por explotación.

Consideramos la explotación como un factor de variación en la presentación de lesiones traqueales en el ganado ovino. Este factor recoge todas las diferencias existentes entre las granjas a varios niveles y que no fueron estudiadas de manera individual.

En el estudio se detectaron diferencias significativas entre las distintas explotaciones ( $p < 0,05$ ) (tabla 6) en cuanto a sus prevalencias respecto a la presentación de lesiones traqueales.

## Resultados

Tabla 6: Prevalencias según explotaciones. Las bandas verdes indican las explotaciones con prevalencias más bajas y las bandas rojas, las explotaciones con las prevalencias más altas.

PREVALENCIAS SEGÚN EXPLOTACIONES		
EXPLOTACION	LESIÓN	
	NO	SI
1	97,3%	2,7%
2	90,0%	10,0%
3	87,3%	12,7%
4	92,7%	7,3%
5	89,1%	10,9%
6	96,4%	3,6%
7	80,0%	20,0%
8	86,1%	13,9%
9	94,5%	5,5%
10	80,1%	19,9%
11	92,0%	8,0%
12	85,4%	14,6%
13	91,4%	8,6%
14	82,0%	18,0%
15	83,9%	16,1%
16	93,2%	6,8%
17	76,5%	23,5%
18	94,3%	5,7%
19	88,0%	12,0%
20	75,2%	24,8%

## Resultados

PREVALENCIAS SEGÚN EXPLOTACIONES		
EXPLOTACION	LESIÓN	
	NO	SI
21	91,7%	8,3%
22	81,4%	18,6%
23	91,3%	8,7%
24	90,8%	9,2%
25	73,1%	26,9%
26	91,7%	8,3%
27	92,2%	7,8%
28	84,2%	15,8%
29	90,2%	9,8%
30	83,1%	16,9%
31	85,0%	15,0%
32	76,2%	23,8%
33	76,0%	24,0%
34	76,1%	23,9%
35	77,0%	23,0%
36	85,2%	14,8%
37	76,7%	23,3%
38	88,3%	11,7%
39	98,8%	1,2%
40	89,3%	10,7%
41	87,5%	12,5%
<b>TOTAL</b>	<b>88,0%</b>	<b>12,0%</b>

## Resultados

---

De esta forma, podemos observar que las granjas con mayor riesgo de sufrir lesiones traqueales fueron las explotaciones: 20, 25, 33 y 34, mientras que las más “seguras” en cuanto al riesgo de padecer algún tipo de lesión en la tráquea fueron los rebaños con los números: 1, 6, 9 y 39. A la hora de definir riesgos relativos de las explotaciones, podemos ver que existen diferencias entre las distintas granjas, siendo la explotación nº 39 con un 1,2% la que menos riesgo presentó, mientras que la explotación nº 25 fue la “peor” de todas, con un 26,9 % de animales afectados.

Para facilitar el estudio, debido al número de granjas que participaron en el mismo, se agruparon los rebaños según las prevalencias de presentación de lesión traqueal, teniendo en cuenta que cada grupo hubiera como mínimo un 10% del censo total de las ovejas exploradas. Por lo que el subprograma Tree del paquete estadístico SPSS 20.0., en función de la prevalencia de presentación de lesión, arrojó la formación de cuatro grupos de granjas (figura 16).

-Explotaciones con una prevalencia de lesión traqueal baja: 7.117 animales con un porcentaje medio de lesión del 6,40%.

-Explotaciones con una prevalencia de lesión traqueal media-baja: 3.988 animales con un porcentaje medio de lesión del 11,40%.

-Explotaciones con una prevalencia de lesión traqueal media-alta: 2.526 animales con un porcentaje medio de lesión del 15,60%.

-Explotaciones con una prevalencia de lesión traqueal alta: 3.614 animales con un porcentaje medio de lesión del 21,20%.

# Resultados

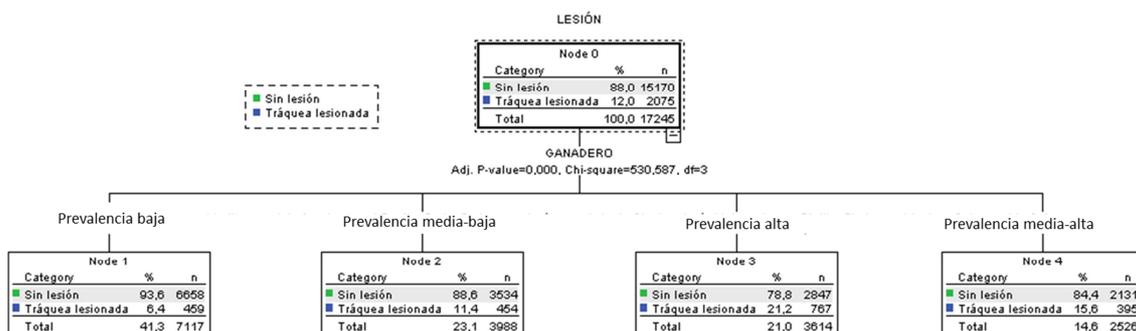


Figura 16: Clasificación de los rebaños según prevalencia y gravedad de la lesión en cuatro grupos: grupo de prevalencia baja (6,4%), de prevalencia media-baja (11,4%), de prevalencia media-alta (15,6%) y de prevalencia alta (21,2%).

Las diferencias son significativas entre los distintos grupos ( $p < 0,001$ ). Si analizamos el riesgo comparando los diferentes grupos, la mayor diferencia, respecto al riesgo, se da entre el grupo de baja y alta prevalencia, es decir, los animales que pertenecientes al grupo de explotaciones de alta prevalencia tienen 3,91 veces más probabilidad de tener lesión traqueal que los del grupo de baja prevalencia. Respecto al grupo de prevalencia media-alta frente al de baja aumenta 2,70 veces el riesgo de padecer algún tipo de afección a nivel de tráquea. Las del grupo de media-baja prevalencia frente a las de baja tienen 1,86 veces más de riesgo a adquirir la patología (figura 17).

## Resultados

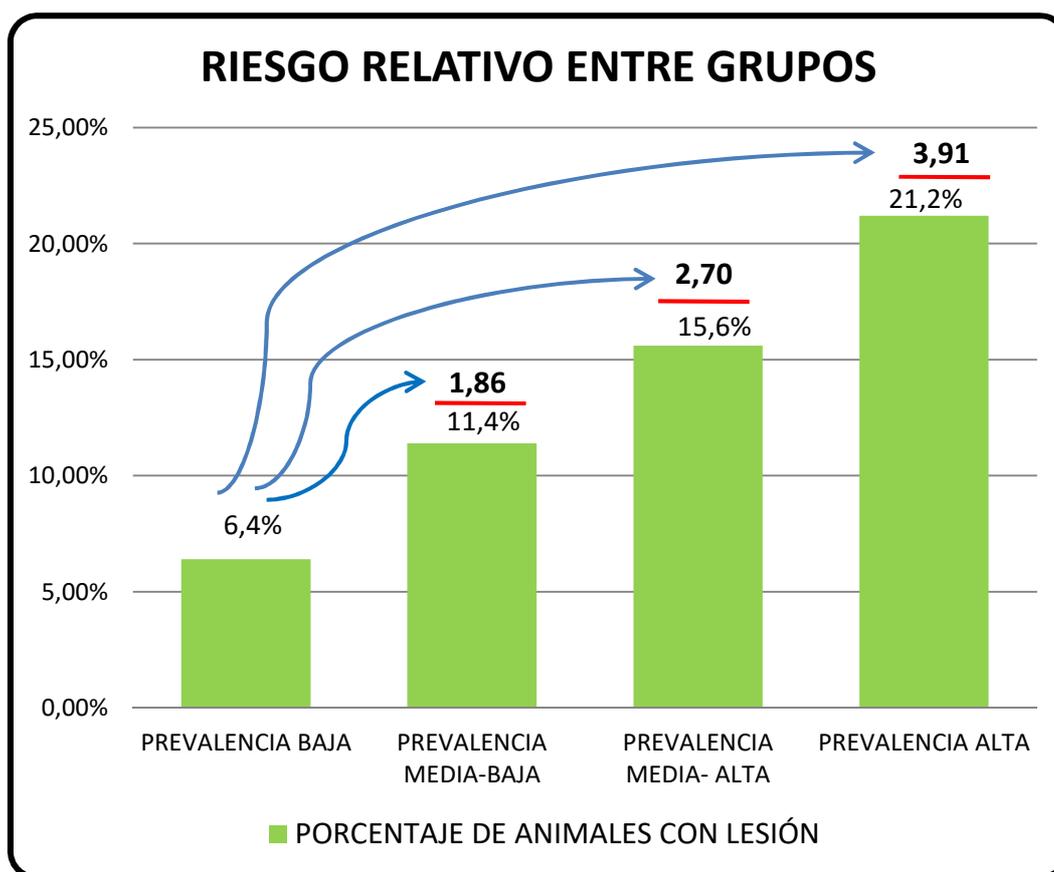


Figura 17: Riesgo relativo de lesión entre grupos.

En la figura 18 podemos observar el riesgo entre los siguientes grupos. Donde podemos apreciar que el grupo de prevalencia alta presenta 2,1 veces más riesgo de presentar lesión traqueal frente al grupo de media-baja prevalencia y un 1,45 veces más frente a su grupo anterior, el de prevalencia media-alta.

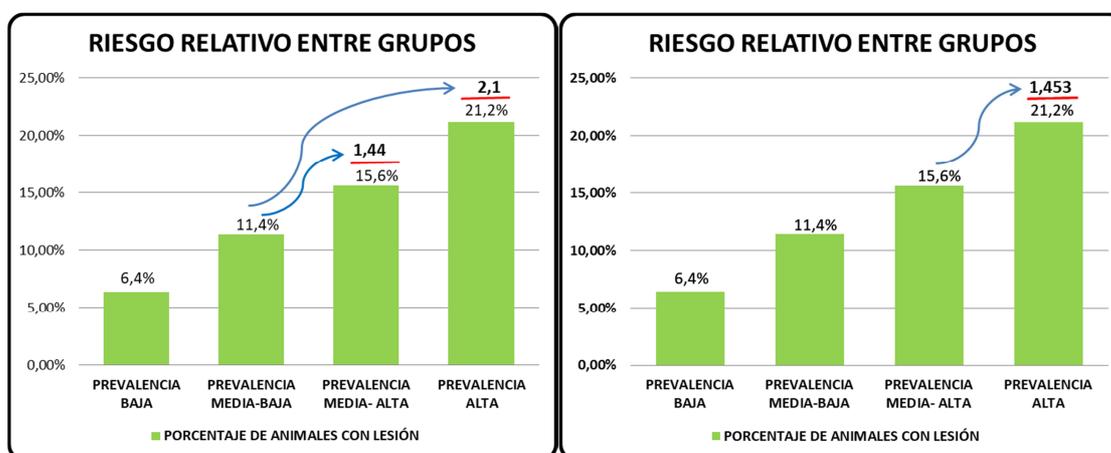


Figura 18: Riesgo relativo de presentar lesión entre grupos de explotaciones según prevalencias.

## Resultados

---

### 5.1.4. Prevalencia de lesión traqueal según la edad

Para profundizar en el papel que puede desempeñar la edad de los animales estudiados sobre la presentación de lesiones traqueales, en primer lugar analizaremos los rangos de edad que se presentan en el total de animales de las 41 explotaciones en las que hemos trabajado. La edad media de las ovejas estudiadas fue de 4,86 años. Ésta edad variaba desde menos de un año, es decir, animales de meses de edad, 979 animales, hasta los de 11 años y más. De este modo, la distribución por edades queda de la siguiente manera:

- Animales menores de un año: 979.
- Animales de 1 a 2 años: 1.843.
- Animales de 2 a 3 años: 2.568.
- Animales de 3 a 4 años: 2.240.
- Animales de 4 a 5 años: 1.908.
- Animales de 5 a 6 años: 1.619.
- Animales de 6 a 7 años: 1.270.
- Animales de 7 a 8 años: 1.419.
- Animales de 8 a 9 años: 1.046.
- Animales de 9 a 10 años: 869.
- Animales de 10 a 11 años: 436.
- Animales de 11 o más años: 1.045.

La mayor parte de los animales presentes en los rebaños, en el momento del estudio, se encontraban en un rango de edad que iban desde los 2 a los 4 años; teniendo dos años de edad un 14,89% de las ovejas en el momento del estudio, tres años un 12,98% y cuatro años un 11,06%. A partir de ahí, el número de animales por rango de edad fue disminuyendo progresivamente (figura 18).

## Resultados

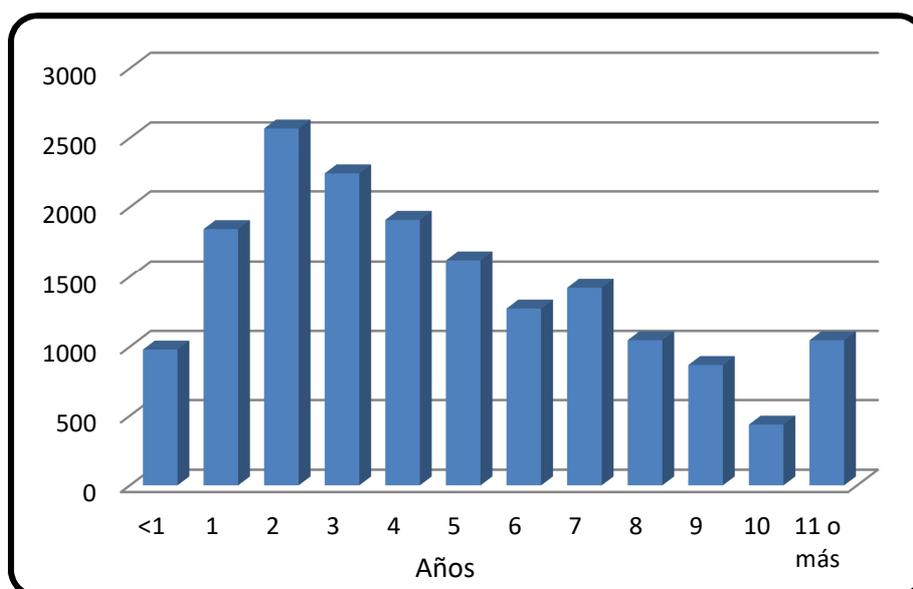


Figura 18: Distribución de los animales estudiados según su edad.

De los 17.245 animales estudiados encontramos 2.075 con lesión traqueal, así pues, la prevalencia individual fue del 12,03%. Como a partir de los 11 años el número de animales que se encontraban en cada rango de edad descendía considerablemente y resultaba difícil determinar la edad exacta de los ejemplares, se decidió agrupar a los animales que superaban esa edad en un solo grupo.

La prevalencia de lesiones traqueales en cada uno de los grupos de edad se presenta en la tabla 7:

## Resultados

Tabla 7: Prevalencia de lesiones traqueales según las edades de los animales

<b>PREVALENCIA DE LESIONES TRAQUEALES SEGÚN EDAD</b>			
<b>EDAD DE LA OVEJA INSPECCIONADA</b>	<b>LESIÓN</b>		<b>Total</b>
	<b>NO</b>	<b>SI</b>	
< 1 año	99,8%	0,2%	100,0%
1 año	97,3%	2,7%	100,0%
2 años	95,7%	4,3%	100,0%
3 años	94,0%	6,0%	100,0%
4 años	91,6%	8,4%	100,0%
5 años	90,1%	9,9%	100,0%
6 años	87,5%	12,5%	100,0%
7 años	82,6%	17,4%	100,0%
8 años	77,2%	22,8%	100,0%
9 años	76,3%	23,7%	100,0%
10 años	58,0%	42,0%	100,0%
11 o más años	59,4%	40,6%	100,0%
<b>Total</b>	<b>88,0%</b>	<b>12,0%</b>	<b>100,0%</b>

El análisis de prevalencias de las lesiones traqueales (figura: 19), atendiendo a la edad de cada animal, mostró un aumento progresivo de la presencia de lesiones a medida que aumentaba la edad de los animales ( $p < 0.001$ ). Así podemos observar que la prevalencia en los animales más jóvenes, los de 1 y 2 años, fue mínima. Sin embargo, a medida que se incrementan los años, también aumentan las prevalencias, pero este incremento se hace mucho más evidente a partir del décimo año.

## Resultados

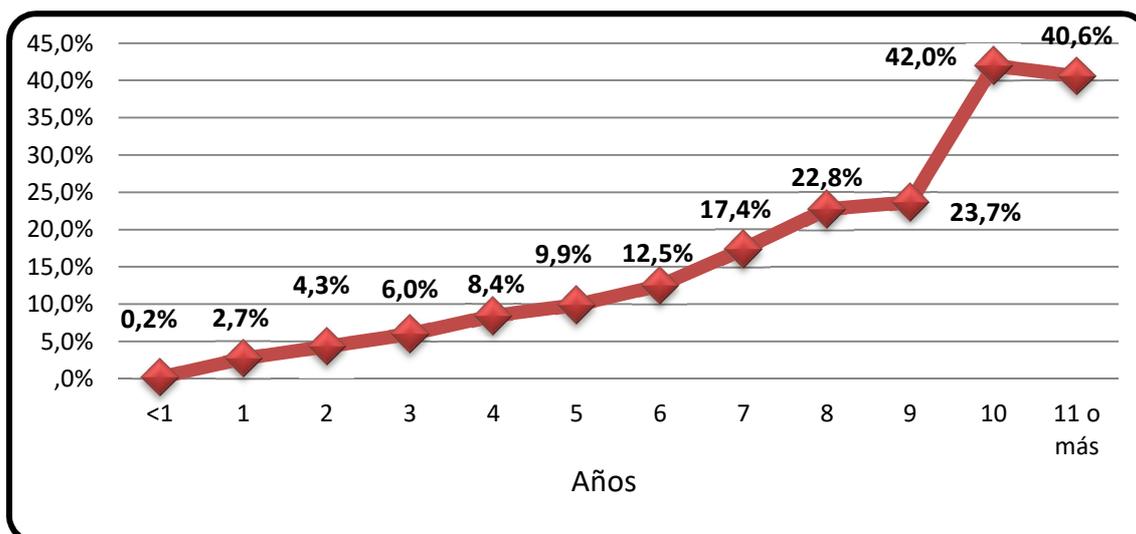


Figura 19.: Porcentaje de lesión traqueal según la edad de los animales afectados en el momento del estudio.

Para simplificar el estudio respecto a la posible relación existente entre la edad del individuo y la aparición de lesiones traqueales, se agruparon los animales por edades, de forma que cada grupo tuviera como mínimo un 8% del censo total de ovejas. Por lo que mediante el subprograma Tree del paquete estadístico SPSS 20.0., en función de las distintas edades, arroja la formación de seis grupos (figura 20).

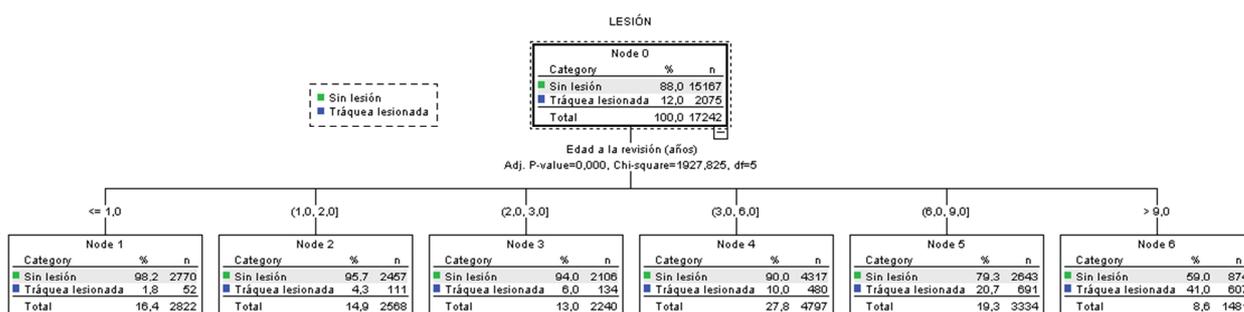


Figura 20: Porcentajes de lesiones en distintos grupos de edad.

## Resultados

---

Las cifras obtenidas en cada uno de los grupos fueron las siguientes (figura 20):

-Grupo de corderas: animales comprendidos desde el momento que se unen al rebaño, con 5-7 meses de edad, hasta el año de vida. En este grupo se encontraron un total de 2.822 animales, lo que supone un 16,4% del total y presentaban algún tipo de lesión el 1,8%.

-Grupo de dos años: los 2.568 animales de dos años representaban el 14,9% del total. En este grupo el porcentaje de animales afectados fue del 4,3%.

-Grupo de 3 años: compuesto por 2.240 animales que supone el 13% del total. Nos encontramos con el 6% de afectados.

-Grupo de 4 a 6 años, “cerradas”: compuesto por un total de 4.800 animales. Encontramos lesiones traqueales en el 10% de los animales.

-Grupo de animales de 7 a 9 años, “viejas”: suponían el 19,3% del total, es decir, 3.334 animales. El 20,7% de los animales presentaban algún tipo de lesión traqueal.

-Grupo de animales con 10 años o más “muy viejas”: que fueron 1.481. En porcentaje respecto al total son el 8,6% y el 41% de éstas presentan lesiones traqueales.

Más del 60% de los animales afectados, fueron animales del grupo de 7 años o mayores.

En la figura 21, podemos ver los distintos porcentajes de lesiones que se presentaban en los diferentes grupos de edad. Las diferencias fueron significativas entre todos los grupos. Se vuelve a apreciar el punto de inflexión que ocurre entre el grupo de las viejas y las muy viejas, es decir, los animales de 10 años respecto al resto, donde el riesgo de padecer lesiones traqueales se dispara.

## Resultados

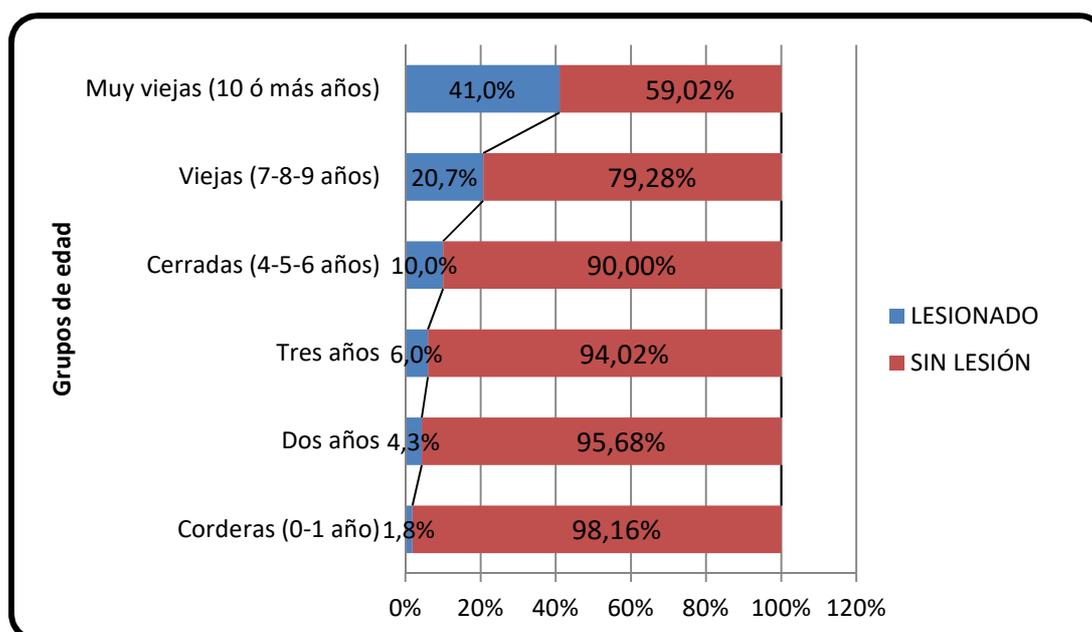


Figura 21: Porcentajes de animales con lesión y sin lesión en los distintos grupos de edad.

Para ver con mayor rotundidad la importancia de la edad en la presentación de lesiones traqueales analizamos este factor comparando los grupos de edad entre sí (figura 22). El riesgo de presentar lesión traqueal aumentó conforme se incrementaba la edad.

El riesgo de sufrir lesiones en los animales de 2 y 3 años respecto a los más jóvenes, los menores de un año, fue de 2,4 y 3,4 veces más respectivamente, mientras que frente a los animales considerados como “cerrados”, los comprendidos entre los 4 y 6 años el riesgo ascendió a 5,9 veces más. El riesgo subió hasta 14 veces más respecto a los más jóvenes en los animales incluidos en el grupo de las viejas, y se disparaba hasta 37 veces más en los animales mayores de 10 años.

## Resultados

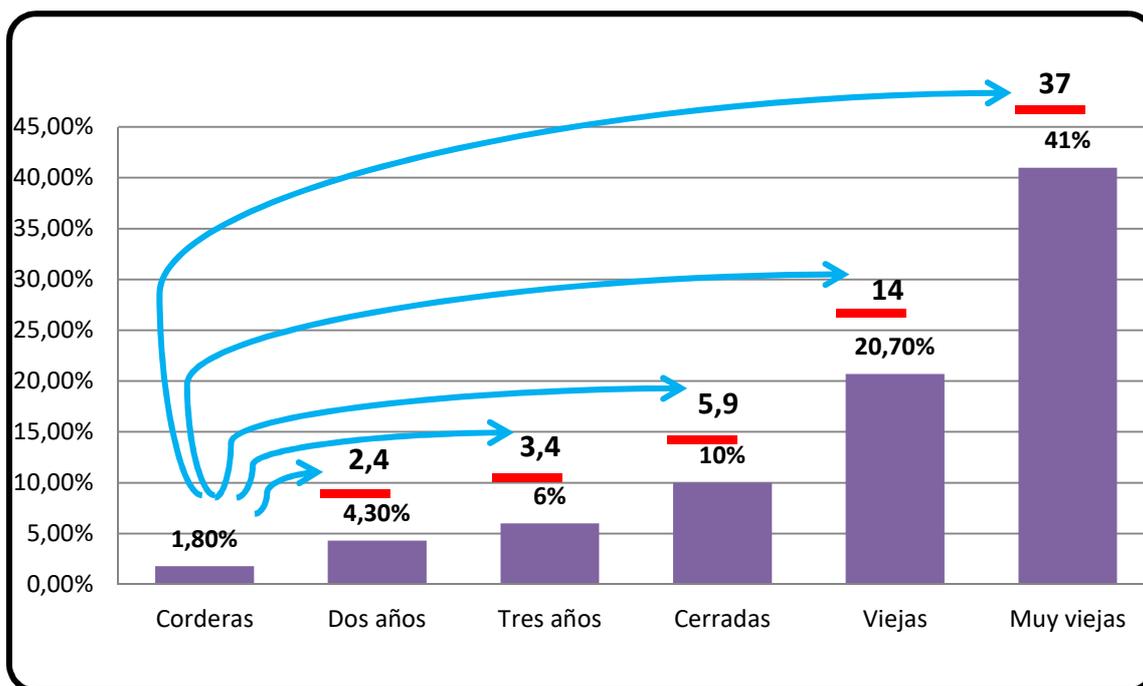


Figura 22: Porcentaje de animales lesionados y riesgo relativo del grupo de 0-1 año frente a las demás.

La comparación del riesgo de presentar lesiones del grupo más afectado frente al resto lo podemos observar en la figura 23.

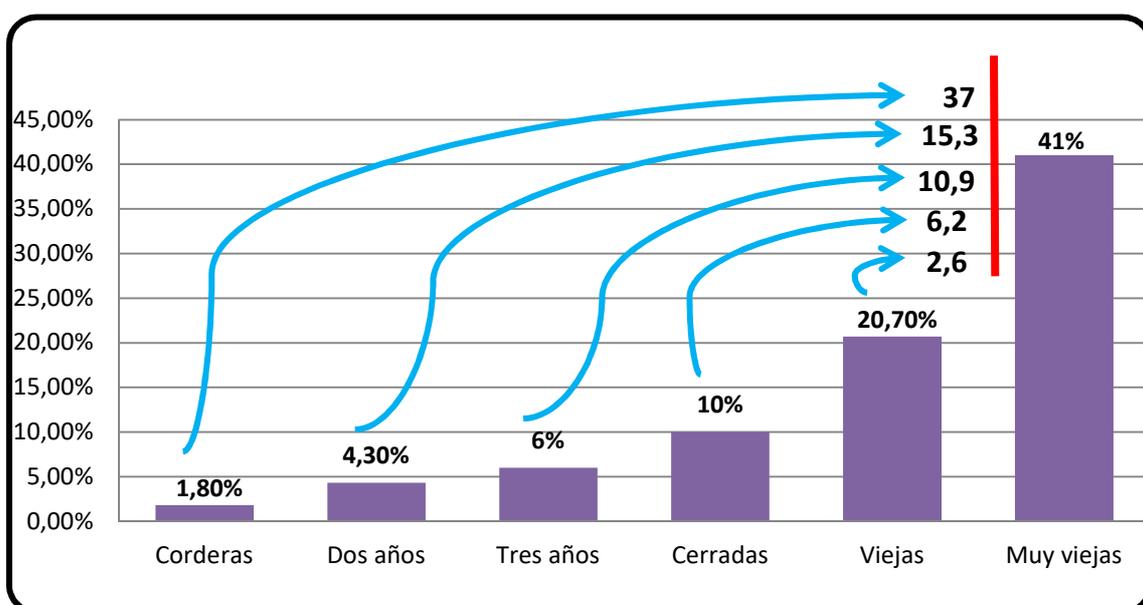


Figura 23: Distribución de frecuencias con el porcentaje de animales lesionados y riesgo relativo de todos los grupos respecto al grupo de mayor edad.

## Resultados

La edad marca un punto de inflexión en la aparición de lesiones traqueales y determina en buena medida su aparición, por tanto, analizaremos la variable de edad en relación con otros factores como la granja, localización y tipo de lesión.

### 5.1.4.1. Edad-Grupo granjas

A continuación, mostramos los resultados obtenidos al analizar la prevalencia de manera individual, detallando censos, edades medias y porcentaje de lesiones, dentro de cada rebaño.

De las 41 ganaderías analizadas, todos los rebaños presentaron animales con lesiones traqueales, lo cual supone una prevalencia colectiva del 100%. Como hemos dicho antes, la edad media de los 41 rebaños era de 4,86 años, sin embargo, se observaron diferencias entre ellos. En la tabla 8 se detalla la edad media de cada rebaño, el censo presente en el momento de llevarse a cabo el estudio y el porcentaje de animales con alteración traqueal.

Tabla 8: Censo, edad media de cada rebaño y porcentaje de animales con lesión. Las bandas verdes indican los rebaños con menor tasa de animales con lesión traqueal y las bandas rojas los rebaños con mayor prevalencia de lesiones. Los cuadros de color azul recogen los rebaños con los censos más bajos.

EXPLOTACIÓN	CENSO	EDAD MEDIA	% LESIÓN
1	601	4,42	2,7%
2	319	5,21	10,0%
3	308	5,17	12,7%
4	642	4,49	7,3%
5	138	4,74	10,9%
6	366	4,69	3,6%
7	55	4,24	20,0%
8	72	7,10	13,9%
9	487	4,71	5,5%
10	141	3,20	19,9%
11	784	4,11	8,0%
12	171	4,70	14,6%
13	443	3,96	8,6%

## Resultados

EXPLOTACIÓN	CENSO	EDAD MEDIA	% LESIÓN
14	1059	5,54	18,0%
15	311	5,36	16,1%
16	499	4,44	6,8%
17	51	3,02	23,5%
18	662	5,13	5,7%
19	316	4,72	12,0%
20	105	6,56	24,8%
21	169	3,70	8,3%
22	553	5,46	18,6%
23	911	6,02	8,7%
24	65	3,85	9,2%
25	186	8,79	26,9%
26	493	5,01	8,3%
27	477	4,06	7,8%
28	874	5,81	15,8%
29	766	3,94	9,8%
30	437	5,37	16,9%
31	20	2,85	15,0%
32	609	7,96	23,8%
33	25	3,40	24,0%
34	452	5,26	23,9%
35	348	5,95	23,0%
36	641	4,51	14,8%
37	30	3,73	23,3%
38	180	3,52	11,7%
39	518	5,47	1,2%
40	590	4,87	10,7%
41	1371	4,60	12,5%
<b>TOTAL</b>	<b>17245</b>	<b>4,86</b>	<b>12,0%</b>

Según se aprecia en la tabla, las explotaciones con un censo inferior a cien cabezas de ganado, por lo general, presentaron un porcentaje de lesiones mayor que la media. Por otro lado, las explotaciones con una media de edad alta presentaron una prevalencia mayor de lesiones traqueales. Todo esto nos hizo sospechar que hay algo más, a parte de la edad, en la propia explotación que determina la aparición de lesiones traqueales.

## Resultados

### 5.1.4.2. Edad-localización de la lesión

Estadísticamente, se pudo confirmar que la edad no influye en la zona de la tráquea donde se produce la lesión, aunque sí pudimos observar que en todas las edades la localización más afectada fue la zona media, seguida de la zona posterior (figura 24).

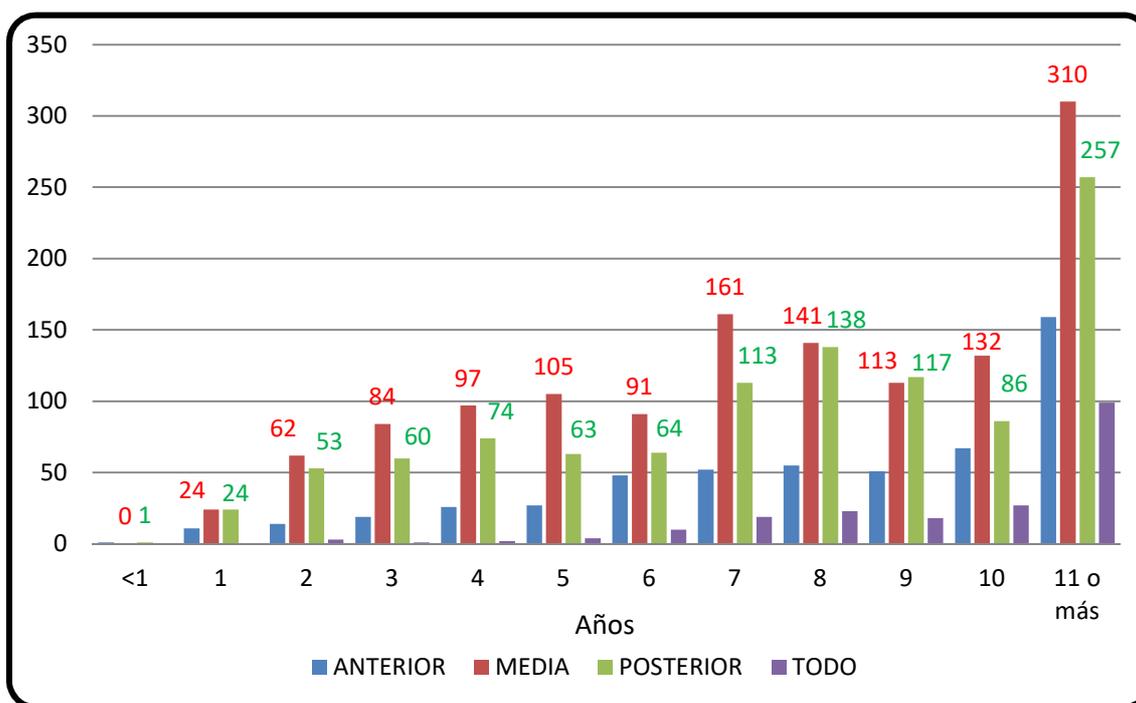


Figura 24: Número de animales con lesiones traqueales en distintas zonas según la edad.

## 5.2. ESTUDIO DE LA ENCUESTA EPIDEMIOLÓGICA

Valiéndonos de las encuestas epidemiológicas que se realizaron en cada una de las explotaciones incluidas en el estudio, se recopilamos una serie de datos que se sometieron al estudio estadístico. Las principales características en las que nos centramos fueron:

- Raza.
- Tasa de reposición.
- Tasa de desvieje.
- Planificación reproductiva.

## Resultados

---

- Manejo del parto.
- Tipo de comedero.
- Tipo de alimentación en pasto.
- Tipo de alimentación en estabulación.
- Aporte de minerales.
- Desinfección y origen de agua.
- Desinfección de naves.
- Censo de la explotación.
- Valoración general de cada explotación.

### **5.2.1. Prevalencia según la raza**

Las ganaderías que participaron en el estudio poseían diferentes razas, sin embargo, cada rebaño podía trabajar con varias de ellas a la vez, por lo tanto no consideramos el factor raza como un factor individual, sino que consideramos el rebaño como un conjunto, de este modo no pudimos obtener resultado alguno en cuanto a la influencia de la raza en la aparición de lesiones traqueales.

### **5.2.2. Prevalencia según tasa de reposición**

El 100% de los ganaderos del estudio dejaba anualmente un número determinado de hembras para vida con el objetivo de mantener un censo concreto de animales. La tasa de reposición varió desde el 3% en las explotaciones más pequeñas hasta el 20% en las más grandes. Analizando los datos, se determinó que no existía correlación alguna entre la tasa de reposición y la aparición de lesiones a nivel traqueal.

## Resultados

---

### 5.2.3. Prevalencia según tasa de desvieje.

En cuanto a la pauta seguido por el ganadero para el desvieje o eliminación de los animales de mayor edad o que presenten algún tipo de problema sanitario a nivel reproductivo, se vio que 18 explotaciones, un 43,90%, no llevaban ningún sistema ni seguían criterio alguno a la hora de desviejar, y dichos animales finalizaban su vida en la explotación. El resto de los rebaños, que sí realizaban un desvieje planificado, 6 lo llevaban a cabo fundamentándose en el estado de la dentición que nos orienta sobre la edad del animal y suponía un 14,63%, y las 17 explotaciones restantes se basaban en la productividad, que suponen el 41,46%. Al analizar la relación estadística, entre el desvieje voluntario o no, y la presencia de lesión traqueal, observamos que en las explotaciones que se realizaba desvieje presentaban una prevalencia de lesión del 12,51% frente a un 15,62% de los que no llevaban animales a matadero, por lo que se constata que no existían diferencias significativas entre los ganaderos que llevaban a práctica el desvieje y los que no, pero sí que se observó una tendencia estadística ( $p=0,091$ ) dentro del grupo de los que sí desviejaban donde en las explotaciones cuyo criterio a seguir era la producción presentaban menos lesiones traqueales con un 10,50 % frente a los que utilizaban el criterio de la edad con un 14,52%.

### 5.2.4. Prevalencia según planificación reproductiva

En cada explotación se llevaba a cabo un manejo reproductivo e intentamos analizar si podía existir alguna relación con la aparición de lesiones traqueales.

El sistema de planificación reproductiva más utilizado en las ganaderías analizadas fue el de monta continua con un 46,34% (19/41). Le siguió el de cuatro pariciones al año con un 26,83% (11/41). El sistema tipo “Star”, con cinco épocas de parición al año, y el de tres pariciones al año fueron los menos utilizados con un 12,20% cada uno (5/41). Sólo una explotación realizaba un único parto al año.

## Resultados

---

De esta forma observamos que casi la mitad de las explotaciones llevaban a cabo algún tipo de planificación reproductiva mientras que la otra mitad utilizaba un sistema de monta continua con un 53,66% frente a un 46,34% respectivamente.

Si analizamos la prevalencia de lesiones traqueales, en función de la planificación reproductiva llevada a cabo en las explotaciones, pudimos confirmar que los rebaños que llevaban un sistema de monta continua presentaban unas prevalencias levemente superiores a los que utilizaban un calendario reproductivo con un 15,57% frente a un 14,04% los de tres pariciones, 12,43% los de cuatro pariciones y un 10,42% los de cinco pariciones. Por tanto, no hay diferencias significativas entre los distintos grupos.

### **5.2.5. Prevalencia según el manejo durante el parto**

El manejo llevado a cabo por el ganadero sobre el rebaño durante la época de partos variaba entre las distintas explotaciones. Algunos ganaderos (12) detectaban y marcaban los animales que estaban gestantes y otros no (29), de esta forma decidían como y cuando estabular a los animales en la fase final de la gestación. En este caso no se observaron diferencias significativas a la hora de valorar la presencia de lesiones traqueales.

Algunos no estabulaban nunca a los animales, es decir, no las encerraban de forma continuada en ningún momento del año, mientras que otros si estabulaban a sus animales antes del momento del parto o después de este y otros antes y después. De este modo, vimos que 32 ganaderos estabulaban a su rebaño en algún momento del año mientras que 9 no lo hacían en ningún momento. Si analizamos la prevalencia de lesión traqueal en función de si se estabulaban o no, observamos que los rebaños que pasaban una época determinada en la paridera mostraban una prevalencia de presentar lesión del 14%, mientras que en los no estabulaban era del 10%.

## Resultados

---

De las 41 explotaciones estudiadas, 32 sacaban las ovejas preñadas al campo a diario, presentando una prevalencia de lesiones traqueales del 14,49%, y 9 las estabulaban algunos días antes, observándose una prevalencia de 10,53%. En estas explotaciones, en cuyo manejo reproductivo se optó por estabular los animales antes del momento del parto, no se observaron diferencias significativas en relación a la presencia de lesiones traqueales respecto a las que no estabulaban, pero si existe una tendencia estadística ( $p=0.088$ ) si tenemos en cuenta el tiempo que permanecían estabuladas. Conforme aumentaban los días de estabulación previos al parto, menos lesiones traqueales se producían.

Por otro lado, 27 explotaciones dejaban las ovejas paridas en casa tras el parto y 14 sacaban al rebaño a pastar fuera durante todo el año, independientemente de su momento productivo. Las prevalencias medias fueron de 12,49% y 15,82% respectivamente. Una vez más volvemos a observar que no existen diferencias significativas respecto a la presencia de lesiones.

### **5.2.6. Prevalencia según tipo de comedero**

El método utilizado para la administración del alimento era muy variable entre distintas explotaciones y no se han detectado diferencias significativas entre los modelos utilizados.

### **5.2.7. Prevalencia según el tipo de pasto**

Sólo una explotación llevaba a cabo un sistema intensivo, lo que implicaba no realizar ningún aprovechamiento del pasto a diente a lo largo del año, pero la alimentación recibida en pesebre era propia de un pasto de regadío, por eso se han incluido en este grupo. Así, la distribución de los rebaños en función del tipo de pasto quedaba como sigue: un 43,90%, es decir, 18 explotaciones de las 41 estudiadas pastaban únicamente en campos de regadío y el mismo número se alimentaban en un sistema mixto, pastando a lo largo del año tanto en campos de

## Resultados

---

secano como de regadío. Por otro lado, un 12,19% (5) lo hacían en campos de secano exclusivamente. Estadísticamente no se ha observado ningún tipo de diferencias entre el tipo de pasto aprovechado y la aparición de lesiones traqueales.

Dentro del grupo de explotaciones que practicaban un pastoreo de secano, que consiste en el aprovechamiento con el ganado de rastrojeras de cereal y monte bajo, no se han observado diferencias significativas. Del mismo modo, tampoco se han observado diferencias significativas dentro del grupo de rebaños que aprovechaban los pastos de regadío basados en alfalfa, ray-gras, restos de los cultivos de huerta etc.

### **5.2.8. Prevalencia según el tipo de alimentación en estabulación**

Si analizamos el tipo de alimento utilizado durante el momento de la estabulación, al intentar determinar la posible influencia que pueden tener en la aparición de lesiones traqueales, hemos podido observar diferencias significativas en aquellas explotaciones en las que se administraba la alimentación en forma de ensilado, bien por bolos o mediante un sistema de carro mezclador, obteniéndose menos prevalencias de lesiones traqueales.

- **Influencia del uso de alimentos ensilados**

Entre los rebaños analizados, un 7,31% (3/41) comían ensilados frente a un 92,7% (38/41) que no lo hacían.

Se ha visto que el uso de este tipo de alimentos disminuía la probabilidad de sufrir daño en la tráquea. Se detectaba una prevalencia de lesión de un 14,31% en los rebaños que no consumían ensilado frente a un 4,94% en los que lo hacían, existiendo una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) (figura 25).

## Resultados

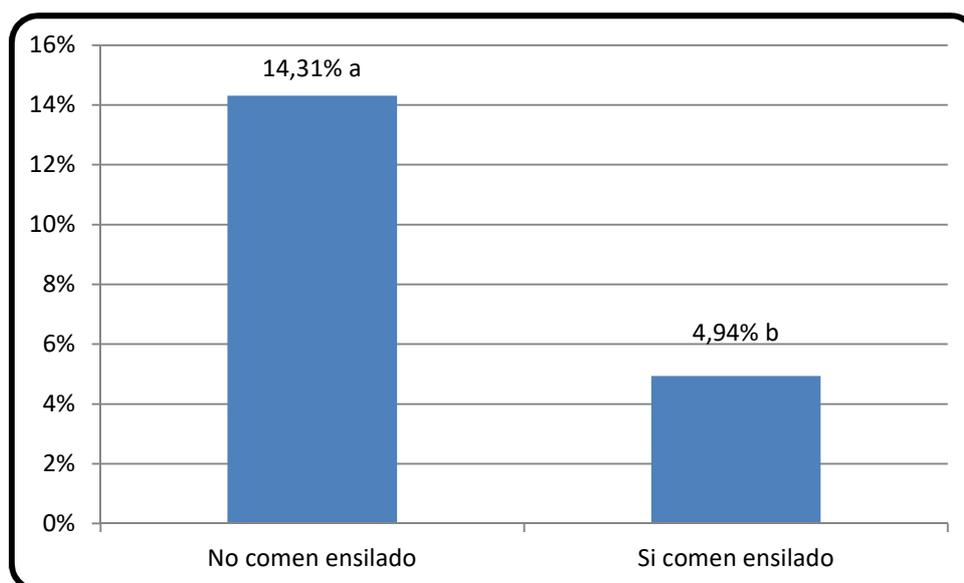


Figura 25: Distribución de los animales (%) con lesión según alimentación. Las letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

- **Influencia del empleo de subproductos húmedos**

En el estudio, un 9,76% (4/41) de los rebaños solían ser alimentados con subproductos húmedos frente a un 90,24% (37/41) que no.

La presencia o no de lesión traqueal se veía afectada por el aprovechamiento de este tipo de alimentos, a pesar del bajo porcentaje de rebaños que aprovechaban estos productos, haciendo que las diferencias fueran estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Los rebaños que no consumían subproductos húmedos presentaban una prevalencia de lesiones en tráquea de un 14,45%, mientras que los que sí lo hacían, alcanzaban una prevalencia del 5,97%.

### 5.2.9. Prevalencia según el aporte de minerales

El uso de correctores minerales o piedras de sal suele ser una práctica habitual en las explotaciones de ganado ovino pero muy inconstante y de mucha variabilidad a la hora de su administración. En nuestro estudio, 28 explotaciones del total facilitaban a sus animales algún tipo de corrector, presentando una

## Resultados

---

prevalencia de lesión traqueal del 12,81%. En el resto, 13 explotaciones en las que los animales carecían de corrector, tenían una prevalencia de lesión del 15,37%. Si realizamos el análisis estadístico, la diferencia entre las que tomaban correctores y las que no, no era estadísticamente significativa por lo que no se ha ahondado más en el tema.

### **5.2.10. Prevalencia según origen y desinfección del agua**

Diez de las 41 explotaciones estudiadas llevaban a cabo algún tipo de desinfección del agua de bebida. Esto se traduce en que el 32,70% de los animales inspeccionados, lo que equivale a un total de 5.640 animales, bebían agua tratada o de la red pública. No se realizaba tratamiento alguno del agua para el 67,30% del resto de los animales, es decir, 11.605 animales bebían agua sin potabilizar.

Una vez realizado el análisis estadístico, independientemente del número de desinfecciones llevadas a cabo a lo largo del año y producto utilizado, se han detectado diferencias significativas en la aparición de lesiones traqueales entre los animales que reciben agua tratada y los que no ( $p < 0,001$ ). La prevalencia de lesiones en animales que beben agua tratada es del 7,87% y la prevalencia entre los animales que consumen agua sin tratar es del 15,48% (figura 26).

## Resultados

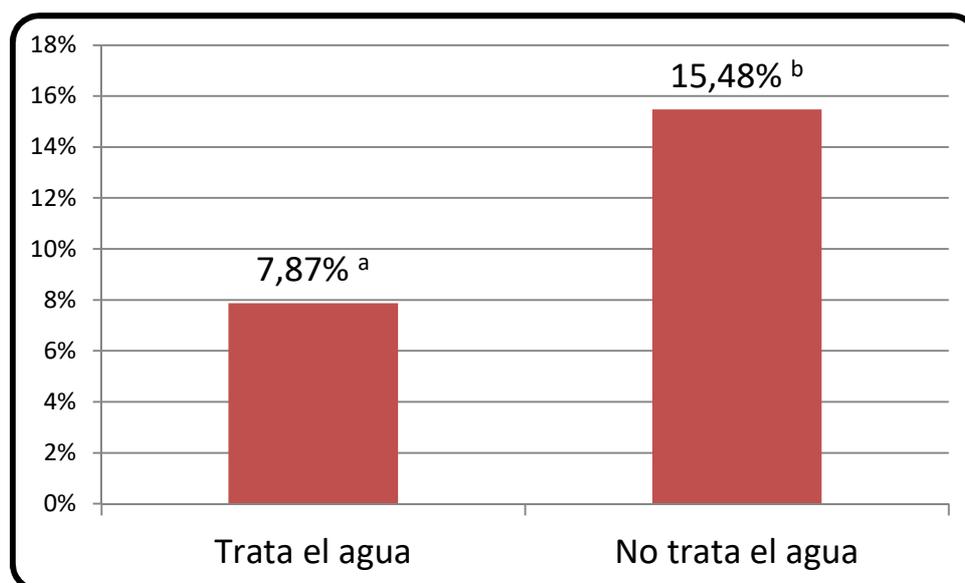


Figura 26: Distribución de los animales (%) con lesión según tratamiento del agua de bebida. Las letras diferentes muestran diferencias dísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.11. Prevalencia según desinfección de la nave

Si nos centramos en el factor de limpieza y desinfección de las instalaciones, independientemente del número de veces al año y del tipo de producto, sólo 8 explotaciones de las 41 no llevaban a cabo ningún tipo de tratamiento desinfectante. El no limpiar ni desinfectar las naves está relacionado con un aumento del porcentaje de animales que presenta algún tipo de lesión, siendo casi un 22,18%. El porcentaje de lesiones que se detectaban en las explotaciones que sí realizaban algún tipo de tratamiento fue del 11,55%. Por lo tanto, se puede afirmar que si se observan diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) (figura 27).

## Resultados

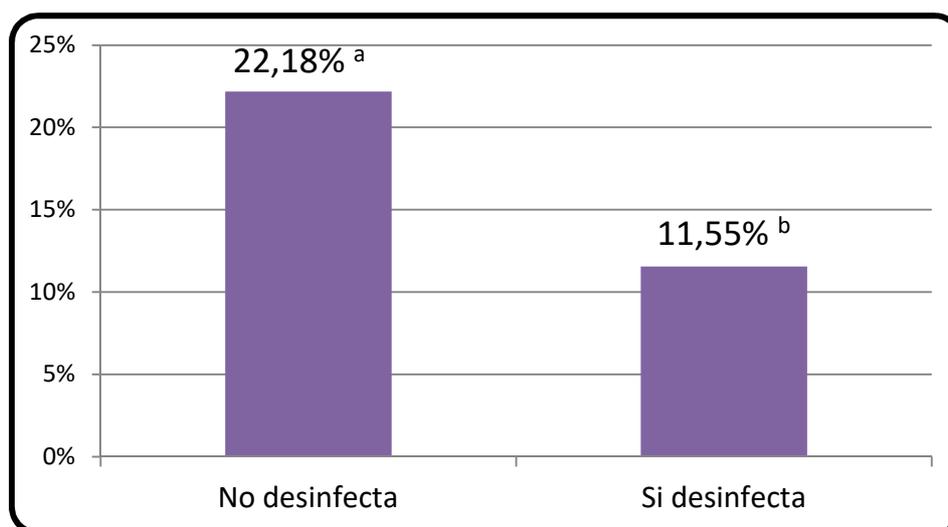


Figura 27: Distribución de los animales (%) con lesión según limpieza y desinfección de naves. Las letras de diferentes tamaños muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.12. Prevalencia según el censo de la explotación

Observando las lesiones presentes en las explotaciones, teniendo en cuenta el censo de cada una de ellas detectamos diferencias significativas. Los rebaños de mayor censo, presentaban menor porcentaje de lesiones traqueales y a la inversa. Aun teniendo en cuenta la edad de los individuos, las diferencias continuaban siendo significativas (tabla 8).

### 5.2.13. Prevalencia según valoración general de la explotación

A cada ganadería que ha participado en el estudio, gracias a la encuesta epidemiológica realizada a los propietarios, se les otorgó una puntuación basándonos en los factores propios de cada explotación cuyas valoraciones vienen resumidas en la tabla 9. También se ha tenido en cuenta la valoración técnica obtenida a partir del criterio de tres profesionales independientes al estudio, pero conocedores de las explotaciones estudiadas.

## Resultados

Tabla 9: Valoraciones otorgadas a los distintos factores que caracterizan a las explotaciones.

FACTOR		PUNTUACIÓN
<b>Desvieje</b>	<b>Si</b>	<b>2</b>
	<b>No</b>	<b>1</b>
<b>Reposición</b>	<b>Si</b>	<b>2</b>
	<b>No</b>	<b>1</b>
<b>Sistema de pariciones</b>	<b>Monta continua</b>	<b>1</b>
	<b>Dos y tres pariciones</b>	<b>2</b>
	<b>Cuatro y cinco pariciones</b>	<b>3</b>
<b>Gestantes en pastoreo</b>	<b>Si</b>	<b>1</b>
	<b>No</b>	<b>2</b>
<b>Periodo de cría en pastoreo</b>	<b>Si</b>	<b>1</b>
	<b>No</b>	<b>2</b>
<b>Desinfección del agua</b>	<b>Si</b>	<b>2</b>
	<b>No</b>	<b>1</b>
<b>Desinfección de la nave</b>	<b>Si</b>	<b>2</b>
	<b>No</b>	<b>1</b>
<b>Suministro de correctores</b>	<b>Si</b>	<b>2</b>
	<b>No</b>	<b>1</b>
<b>Valoración técnica</b>		<b>1-5</b>

La puntuación máxima que puede obtener una granja es de 24 puntos. Tras adjudicar a cada explotación sus puntuaciones correspondientes se sumaron y en la tabla 10 se reflejan los resultados obtenidos por cada una de ellas.

## Resultados

Tabla 10: Puntuaciones obtenidas por cada explotación según los factores estudiados. La banda verde indica las explotaciones con una puntuación superior a 20 puntos. Las bandas rojas pertenecen a las explotaciones con una puntuación inferior a 12 puntos.

EXPLOTACIÓN	PUNTUACIÓN	% LESIÓN
1	21	2,7%
2	18	10,0%
3	18	12,7%
4	21	7,3%
5	18	10,9%
6	17	3,6%
7	13	20,0%
8	16	13,9%
9	23	5,5%
10	14	19,9%
11	23	8,0%
12	14	14,6%
13	12	8,6%
14	20	18,0%
15	11	16,1%
16	16	6,8%
17	11	23,5%
18	23	5,7%
19	16	12,0%
20	12	24,8%
21	20	8,3%
22	18	18,6%
23	17	8,7%
24	15	9,2%
25	12	26,9%
26	17	8,3%
27	21	7,8%
28	22	15,8%
29	16	9,8%
30	17	16,9%
31	12	15,0%
32	17	23,8%
33	12	24,0%
34	16	23,9%
35	17	23,0%
36	18	14,8%
37	12	23,3%
38	16	11,7%
39	18	1,2%

## Resultados

EXPLOTACIÓN	PUNTUACIÓN	% LESIÓN
40	17	10,7%
41	23	12,5%

Para poder facilitar el estudio y valorar la influencia del factor explotación en la aparición de lesiones traqueales hemos dividido las 41 explotaciones en dos grupos. Un grupo engloba todas aquellas ganaderías cuya puntuación fue igual o inferior a 14 puntos, lo que podríamos traducir en explotaciones de baja cualificación, mientras que las que alcanzan una puntuación superior a 14 puntos las definiríamos como explotaciones de alta cualificación, por su mejor manejo.

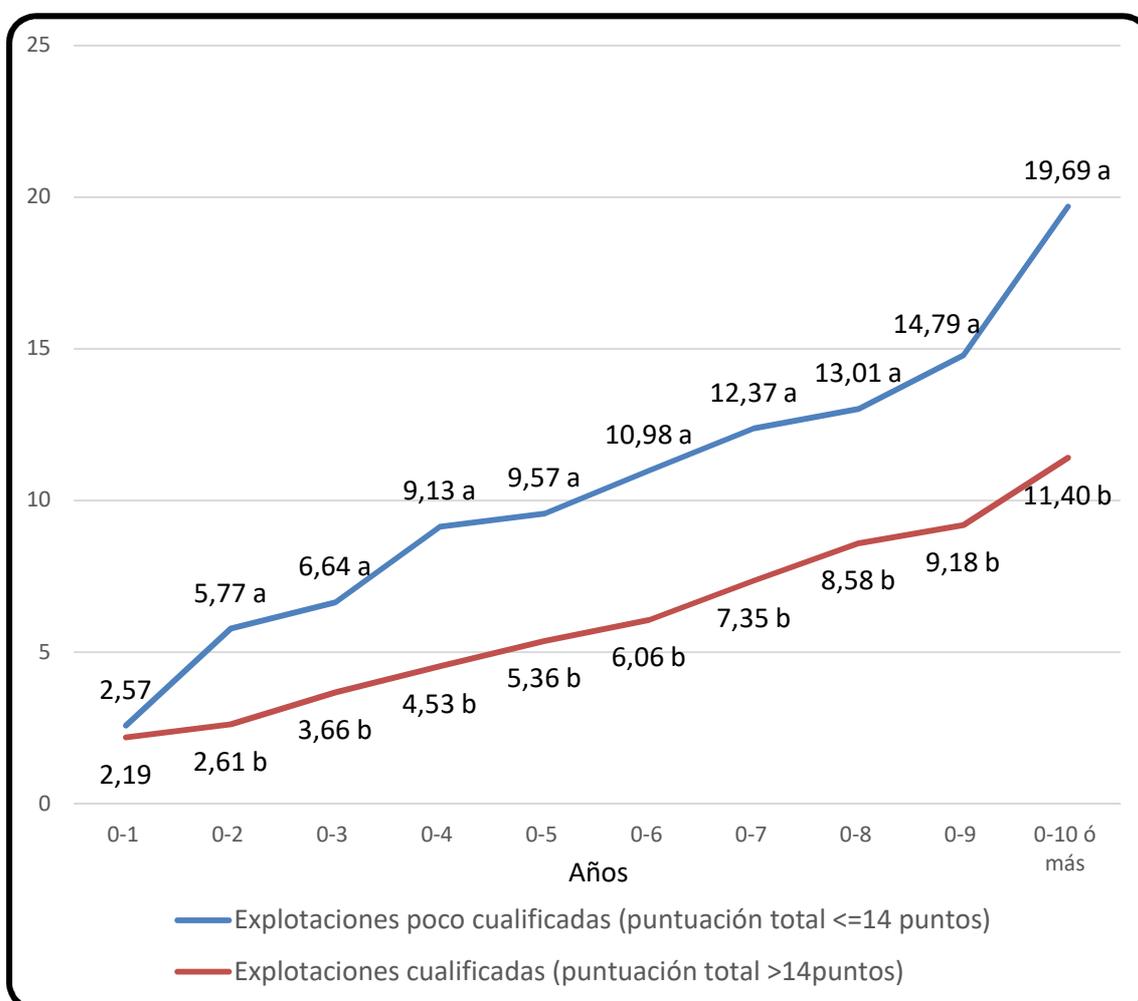


Figura 28: Porcentajes acumulados de animales con lesión en todas las franjas de edad en explotaciones consideradas como poco cualificadas y en explotaciones consideradas más cualificadas. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

## Resultados

---

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos mencionados a la hora de presentar lesiones traqueales en todas las edades menos en el grupo de las corderas. Las mayores prevalencias se presentan sin duda alguna en las explotaciones calificadas como poco calificadas.

A la valoración general que obtienen las explotaciones que las definen como más o menos calificadas, introducimos otra variable como puede ser la edad media de los animales que componen la ganadería en el momento del estudio, para poder conocer si además de las características propias de la explotación, la edad media del rebaño era un factor que también influyese en la prevalencia de presentar lesiones traqueales o no. De este modo hemos podido observar que, hasta los 8 años, la edad media del rebaño no influyó en la aparición de lesiones traqueales sin embargo, fue la calificación obtenida la que determinó la susceptibilidad a padecerlas, pero a partir de esa edad, es la edad media de los animales el factor determinante, más que la calificación obtenida (figura 29).

## Resultados

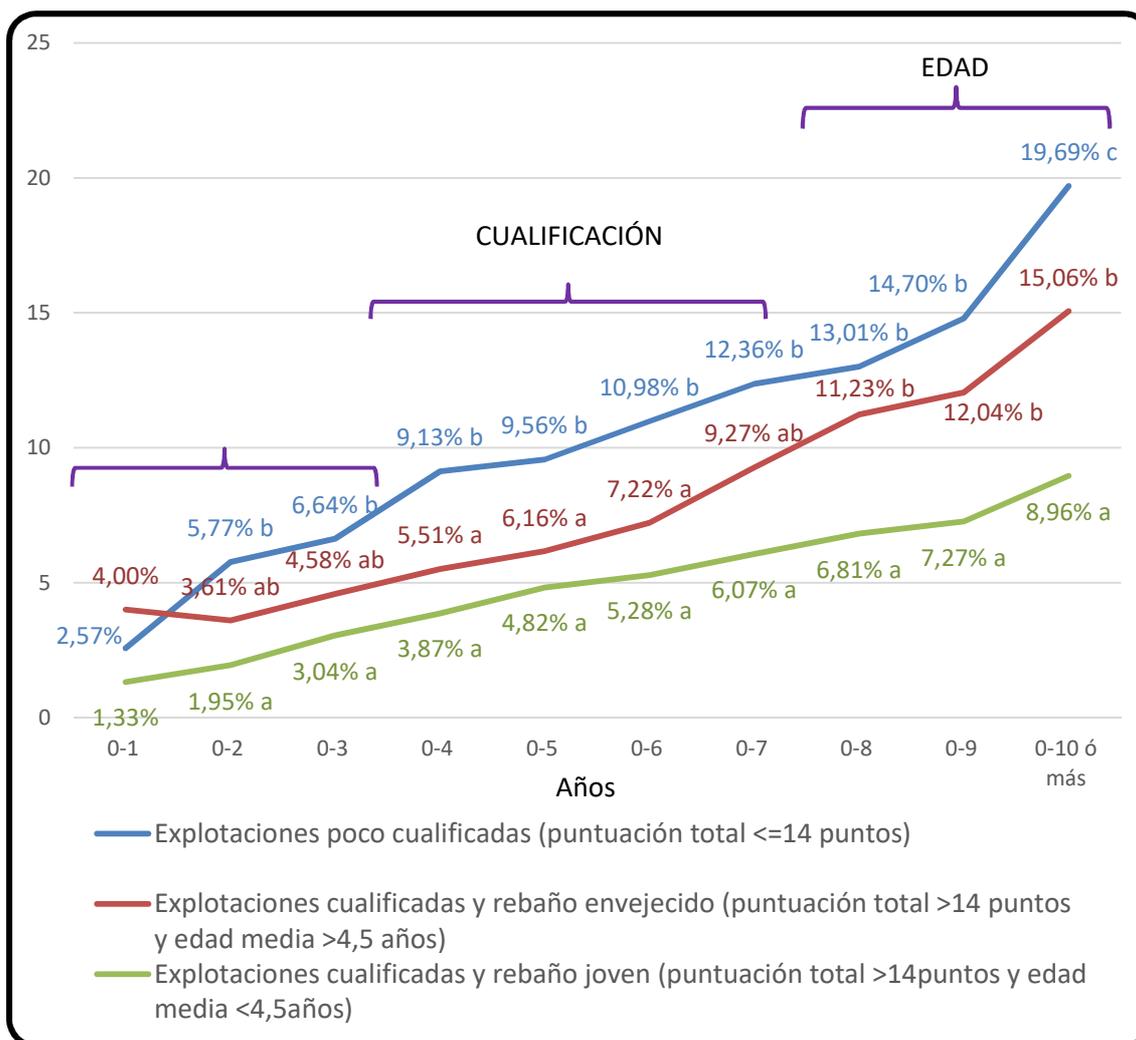


Figura 29: Porcentajes acumulados de animales con lesión en todas las franjas de edad en explotaciones consideradas como poco cualificadas, explotaciones cualificadas, con una media de edad mayor de cuatro años y medio, y explotaciones cualificadas con una media de edad menor de cuatro años y medio. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Si nos detenemos a observar los datos en porcentajes, independientemente de la cualificación de la explotación y edades medias, no existen diferencias significativas entre ganaderías en el porcentaje de animales con lesiones traqueales menores de 3 años. A partir de los cuatro años sí que se detectan diferencias significativas entre explotaciones, donde el mayor índice de lesiones se centra en las explotaciones con poca cualificación. En la franja comprendida

## Resultados

entre los siete y nueve años, no se han observado diferencias entre explotaciones cualificadas y edad media alta y explotaciones poco cualificadas. Todo cambia en la franja de mayor edad donde las prevalencias se disparan en el grupo poco cualificado (figura 30).

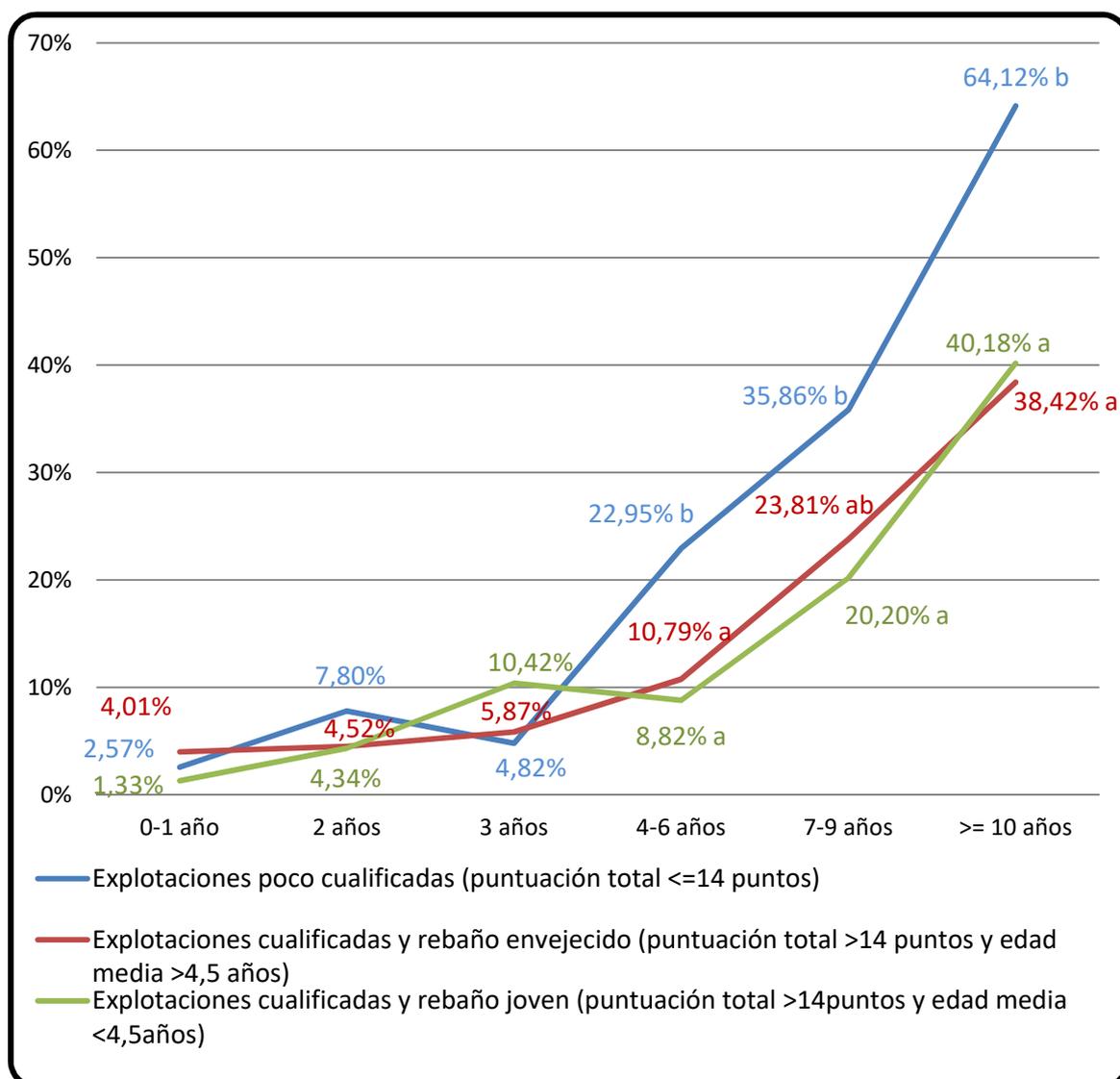


Figura 30: Porcentajes de animales con lesión en distintas franjas de edad en explotaciones consideradas como poco cualificadas, explotaciones cualificadas, con una media de edad mayor de cuatro años y medio, y explotaciones cualificadas con un media de edad menor de cuatro años y medio. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### **5.3. ESTUDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN**

En el estudio de resistencias a la compresión se trabajó sobre 35 tráqueas, sin alteraciones aparentes, procedentes de animales de distintas edades sacrificados en la sala de necropsias de la Facultad de Veterinaria. Cada tráquea se dividió en tres partes, anterior, media y posterior, lo que supone un total de 105 porciones. Los grupos de edad sobre los que trabajamos y el número de tráqueas en cada grupo fueron los siguientes:

- < 1 año: cinco tráqueas.
- 1-3 años: cinco tráqueas.
- 3-5 años: cinco tráqueas.
- 5-7 años: cinco tráqueas.
- 7-9 años: ocho tráqueas.
- > 9 años: siete tráqueas.

En esta parte del ensayo se trabajó a dos niveles, primero en la recopilación de las medidas anatómicas de cada porción traqueal, diámetros y espesores, para saber si podría existir alguna relación entre la luz y el grosor de la pared traqueal con el comportamiento de la estructura ante fuerzas de compresión y posteriormente en la obtención de datos sobre la resistencia a la compresión que presentaba cada una de las porciones citadas. Todos estos datos se han enfrentado con el factor edad.

#### **5.3.1. Medidas de la tráquea**

A la hora de analizar el espesor de la pared de la tráquea en tres puntos, dos en zonas laterales y una ventral, pudimos observar que no existían diferencias significativas respecto a su grosor a lo largo de toda su extensión, es decir, entre las distintas localizaciones de anterior, media y posterior. También podemos confirmar, que no hay cambios en la luz de la tráquea a lo largo de toda su longitud. En la tabla 11 podemos observar la media de todas las medidas

## Resultados

obtenidas expresada en milímetros. En todos los casos el grosor de la pared traqueal en la zona ventral fue siempre ligeramente superior que en los laterales.

Tabla 11: Diámetros y espesores en milímetros de la pared traqueal donde el espesor A y C corresponde al grosor lateral de la pared traqueal, y el espesor B corresponde al grosor en la parte más ventral de la tráquea.

LOCALIZACIÓN	ESPESOR A (mm)	ESPESOR B (mm)	ESPESOR C (mm)	DIÁMETRO (mm)
<b>ANTERIOR</b>	2,14 ± 0,073	2,89 ± 0,061	2,09 ± 0,076	24,58 ± 0,586
<b>MEDIA</b>	2,11 ± 0,068	3,03 ± 0,078	2,15 ± 0,055	24,53 ± 0,579
<b>POSTERIOR</b>	2,14 ± 0,065	2,88 ± 0,079	2,09 ± 0,060	24,06 ± 0,616

Respeto a la edad sí que se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las mediciones correspondientes al espesor B, es decir, al grosor de la pared en la zona ventral del anillo traqueal. En la tabla 12 se muestran las mediciones tomadas en dicha zona según los grupos de edad.

Tabla 12: Mediciones, en milímetros, del grosor de la zona ventral de la tráquea en ovejas de los distintos grupos de edad. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

EDADES (años)	ESPESOR B (mm)
<b>&lt; 1 AÑO<sup>a</sup></b>	2,62 ± 0,094
<b>1-3 AÑOS<sup>ab</sup></b>	2,75 ± 0,111
<b>3-5 AÑOS<sup>ab</sup></b>	2,79 ± 0,112
<b>5-7 AÑOS<sup>bc</sup></b>	3,09 ± 0,096
<b>7-9 AÑOS<sup>ab</sup></b>	2,89 ± 0,068
<b>&gt;9 AÑOS<sup>c</sup></b>	3,27 ± 0,083

## Resultados

Lo más destacado entre las diferentes edades fue que el espesor en la zona ventral del anillo traqueal de los animales pertenecientes al grupo de más de nueve años mostró diferencias significativas respecto al resto de grupos.

En relación al diámetro no hubo diferencias significativas entre las distintas zonas de la tráquea, es decir, a lo largo de toda su longitud, pero sí que se observaron cuando teníamos en cuenta la edad de los animales ( $p < 0,001$ ). En la tabla 13 se presentan las medidas.

Tabla 13: Diámetros medios de la tráquea según los distintos grupos de edad. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

EDADES (años)	DIÁMETRO (mm)
< 1 AÑO <sup>a</sup>	20,91 ± 0,407
1-3 AÑOS <sup>bc</sup>	24,70 ± 0,402
3-5 AÑOS <sup>ab</sup>	22,49 ± 0,695
5-7 AÑOS <sup>bc</sup>	24,74 ± 0,970
7-9 AÑOS <sup>c</sup>	25,56 ± 0,690
>9 AÑOS <sup>c</sup>	26,43 ± 0,811

A medida que avanza la edad se observó que los diámetros también aumentaban.

Si analizamos las diferencias estadísticas de los distintos espesores y diámetros según localización y según cada una de las franjas de edad, los resultados obtenidos los podemos ver resumidos en la figura 31.

## Resultados

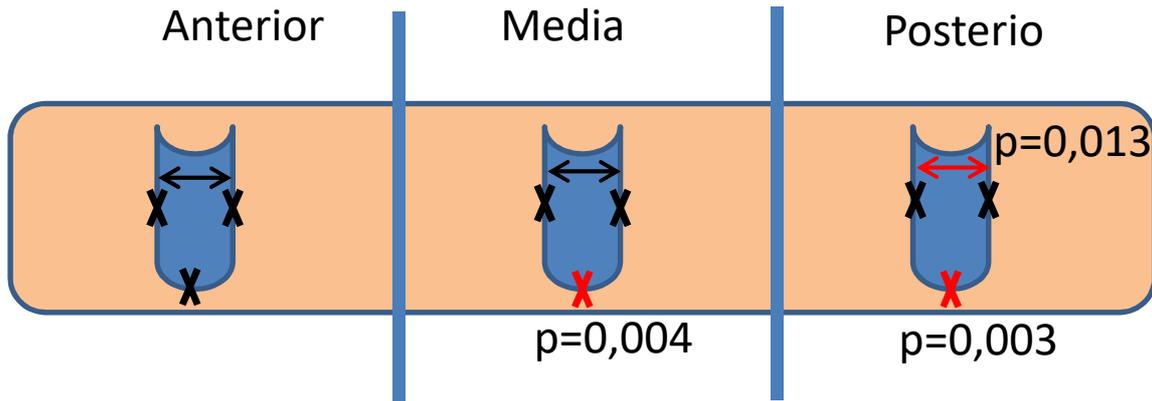


Figura 31: Representación de una tráquea con las zonas anterior, media y posterior delimitadas. En cada zona, caracterización del corte transversal de la tráquea donde las “X” representan los espesores anotados y la doble flecha el diámetro. El color negro informa que no hay diferencias significativas, y el color rojo indica que sí hay diferencias significativas respecto a la edad.

No hubo diferencias significativas dentro de los distintos grupos de edad en el grosor correspondiente a las zonas de los laterales del anillo traqueal en ninguna de las tres porciones en las que se dividieron las tráqueas. Donde sí se detectaron diferencias significativas fue en los grosores de la parte ventral del corte transversal de la tráquea en animales según la edad. Exactamente en la zona media ( $p=0,004$ ) y en la zona posterior ( $p=0,003$ ). El diámetro sólo presentó diferencias en la parte posterior ( $p=0,013$ ). Los datos de cada franja de edad se presentan en la tabla 14.

## Resultados

Tabla 14: Datos de espesores y diámetros de las distintas porciones de la tráquea que han presentado diferencias significativas según edad. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

LOCALIZACIÓN	EDADES (años)	ESPESOR B (mm)
	MEDIA ( $p=0,004$ )	< 1 AÑO <sup>a</sup>
1-3 AÑOS <sup>ab</sup>		2,98 ± 0,198
3-5 AÑOS <sup>a</sup>		2,72 ± 0,248
5-7 AÑOS <sup>ab</sup>		3,12 ± 0,116
7-9 AÑOS <sup>ab</sup>		2,96 ± 0,124
>9 AÑOS <sup>b</sup>		3,13 ± 0,111
EDADES (años)		ESPESOR B (mm)
LOCALIZACIÓN POSTERIOR ( $p=0,003$ )	< 1 AÑO <sup>a</sup>	2,45 ± 0,194
	1-3 AÑOS <sup>a</sup>	2,54 ± 0,172
	3-5 AÑOS <sup>ab</sup>	2,68 ± 0,222
	5-7 AÑOS <sup>b</sup>	3,30 ± 0,212
	7-9 AÑOS <sup>ab</sup>	2,86 ± 0,098
	>9 AÑOS <sup>b</sup>	3,23 ± 0,094
	EDADES (años)	DIÁMETRO (mm)
LOCALIZACIÓN MEDIA ( $p=0,013$ )	< 1 AÑO <sup>a</sup>	20,33 ± 0,762
	1-3 AÑOS <sup>ab</sup>	23,78 ± 0,819
	3-5 AÑOS <sup>ab</sup>	21,77 ± 1,332
	5-7 AÑOS <sup>ab</sup>	23,85 ± 1,568
	7-9 AÑOS <sup>ab</sup>	25,70 ± 1,060
	>9 AÑOS <sup>b</sup>	26,83 ± 1,600

Hay un grupo de tráqueas, en las cuales, si se dieron diferencias significativas en prácticamente todas las mediciones, y esto ocurrió en las que se produce la rotura del anillo traqueal al someterlo a las fuerzas de compresión. Todas las tráqueas que sufrieron rotura pertenecieron al grupo de más de nueve años. Incluso dentro del mismo grupo de edad cumplen con la normalidad. En la siguiente tabla

## Resultados

podemos observar las medidas tomadas en ambos grupos y sus diferencias significativas.

Tabla 15: Datos de espesores y diámetros de las distintas porciones de tráquea que han presentado diferencias significativas según si se rompe el anillo traqueal o no. Los grupos con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

<b>TOTALIDAD TRÁQUEAS</b>	<b>NO ROMPEN (n=96)</b>	<b>SI ROMPEN (n=9)</b>	<b>SIGNIFICACIÓN</b>
ESPESOR A	2,10 ± 0,039 <sup>a</sup>	2,44 ± 0,150 <sup>b</sup>	p=0,026
ESPESOR B	2,88 ± 0,041 <sup>a</sup>	3,48 ± 0,113 <sup>b</sup>	p<0,001
ESPESOR C	2,07 ± 0,033 <sup>a</sup>	2,55 ± 0,195 <sup>b</sup>	p=0,003
DIÁMETRO	24,23 ± 0,034 <sup>a</sup>	27,98 ± 1,156 <sup>b</sup>	p=0,003
<b>GRUPO &gt;9 AÑOS</b>	<b>NO ROMPEN (n=12)</b>	<b>SI ROMPEN (n=9)</b>	<b>SIGNIFICACIÓN</b>
ESPESOR A	1,86 ± 0,097 <sup>a</sup>	2,44 ± 0,150 <sup>b</sup>	p=0,003
ESPESOR B	3,11 ± 0,099 <sup>a</sup>	3,48 ± 0,113 <sup>b</sup>	p=0,024
ESPESOR C	2,00 ± 0,137 <sup>a</sup>	2,55 ± 0,195 <sup>b</sup>	p=0,028
DIÁMETRO	25,77 ± 1,038	27,98 ± 1,156	p=0,098

### 5.3.2. Fuerzas de compresión

Tras la medición y preparación de cada una de los 105 trozos de tráqueas que participaban en el estudio se procedió a la realización del ensayo sometiendo las muestras a una presión de carga hasta la obturación total de la luz traqueal. La gráfica que se obtenía del proceso se muestra en la figura 32.

## Resultados

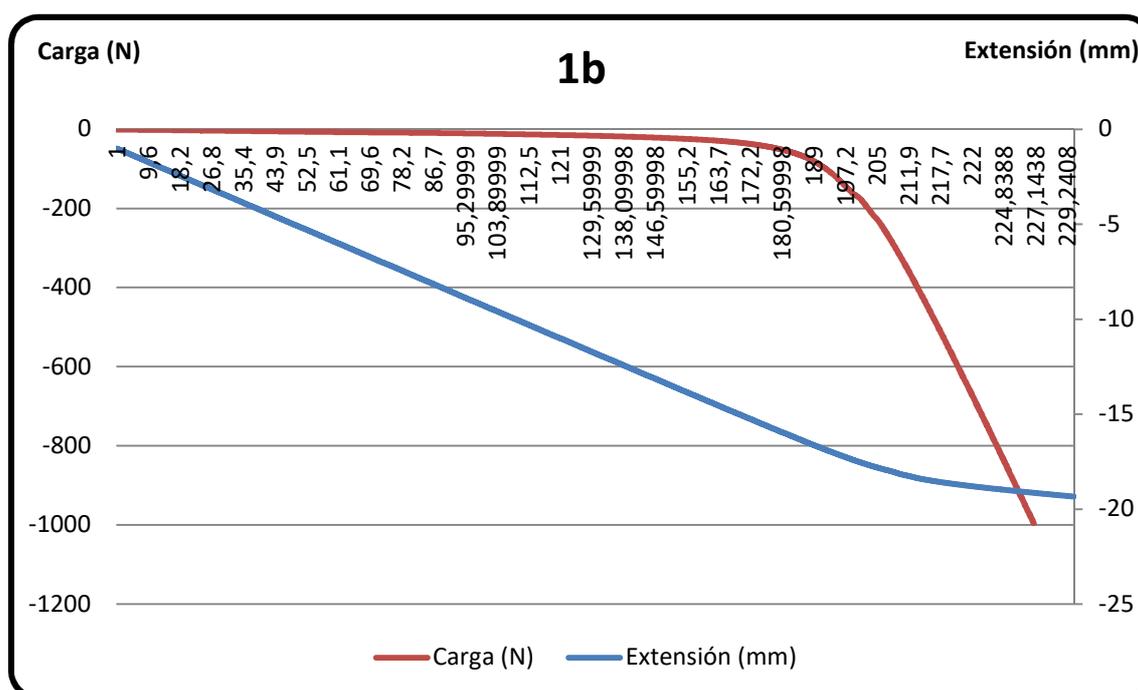


Figura 32: Gráfica que muestra la curva que representa la fuerza ejercida en cada fragmento de tráquea. La línea azul la distancia que recorre la mordaza que es el equivalente al diámetro traqueal, la roja es la carga ejercida por la máquina, es decir, la presión.

La resistencia a la compresión que presenta una estructura, no depende de su diámetro, por lo tanto, a la hora de escoger una medición hemos tenido en cuenta dos posibilidades, la primera es la carga que se ha tenido que ejercer para que se ocluya la luz traqueal a la mitad, es decir, la fuerza ejercida para que la estructura traqueal llegue a la mitad de su diámetro. La otra medición que se ha tenido en cuenta es la carga máxima de rotura, la fuerza a la que los anillos traqueales colapsan y se rompen.

- **Carga para reducir el diámetro a la mitad**

No se observaron diferencias significativas respecto a las fuerzas ejercidas en cada uno de los segmentos para llegar a reducir a la mitad el diámetro de la luz traqueal, exceptuando en los segmentos correspondientes a la zona anterior,

## Resultados

donde sí se han observado diferencias significativas respecto a los distintos grupos de edad ( $p=0,047$ ) (tabla 16).

Tabla 16: Medias de las fuerzas ejercidas sobre las muestras traqueales para alcanzar la mitad del diámetro traqueal pertenecientes a la zona anterior expresadas en Newtons en las distintas franjas de edad. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p=0,047$ ).

EDADES (años)	CARGA EN ZONA ANTERIOR (N)
< 1 AÑOS <sup>a</sup>	537,00 ± 19,165
1-3 AÑOS <sup>ab</sup>	553,60 ± 36,615
3-5 AÑOS <sup>ab</sup>	573,75 ± 15,234
5-7 AÑOS <sup>a</sup>	538,00 ± 10,242
7-9 AÑOS <sup>a</sup>	549,13 ± 16,533
>9 AÑOS <sup>b</sup>	655,86 ± 35,866

El grupo de edad en el cual fue necesario ejercer una mayor fuerza para llegar a ocluir hasta la mitad el calibre traqueal fue el perteneciente al grupo de los mayores de 9 años.

Si en vez de realizar el estudio por zonas, tomamos la tráquea con sus tres zonas como un todo y hacemos el mismo calculo estadístico, queda aún más patente que es necesario ejercer una mayor fuerza en el grupo de animales de mayor edad para llegar a la mitad del calibre traqueal que en el resto de grupos, obteniéndose diferencias significativas ( $p<0,001$ ). Las fuerzas ejercidas en cada grupo de edad vienen especificadas en la tabla 17.

## Resultados

Tabla 17: Medias de las fuerzas ejercidas sobre las muestras traqueales para alcanzar la mitad del diámetro traqueal expresadas en Newtons en las distintas franjas de edad. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ).

EDADES (años)	CARGA (N)
< 1 AÑO <sup>ab</sup>	543,73 ± 10,790
1-3 AÑOS <sup>b</sup>	559,00 ± 18,081
3-5 AÑOS <sup>b</sup>	568,57 ± 9,936
5-7 AÑOS <sup>a</sup>	539,73 ± 5,747
7-9 AÑOS <sup>ab</sup>	564,75 ± 8,560
>9 AÑOS <sup>c</sup>	655,67 ± 23,888

Los grupos formados con animales menores de nueve años no mostraron diferencias significativas entre las fuerzas necesarias para reducir el diámetro a la mitad sin embargo, sí que aparecieron diferencias significativas entre estos grupos de edad y los mayores de nueve años. En este último grupo ha sido necesario ejercer una mayor fuerza para conseguir reducir el calibre traqueal a la mitad.

Si tenemos en cuenta el grupo de tráqueas que se rompen durante el proceso y las que no, obtenemos diferencias significativas entre ellas ( $p < 0,001$ ), en donde la media de carga necesaria para llegar a la mitad del diámetro en las tráqueas intactas fue de 570,83 N y en las que si sufrieron fracturas fue de 768,78 N (figura 33).

## Resultados

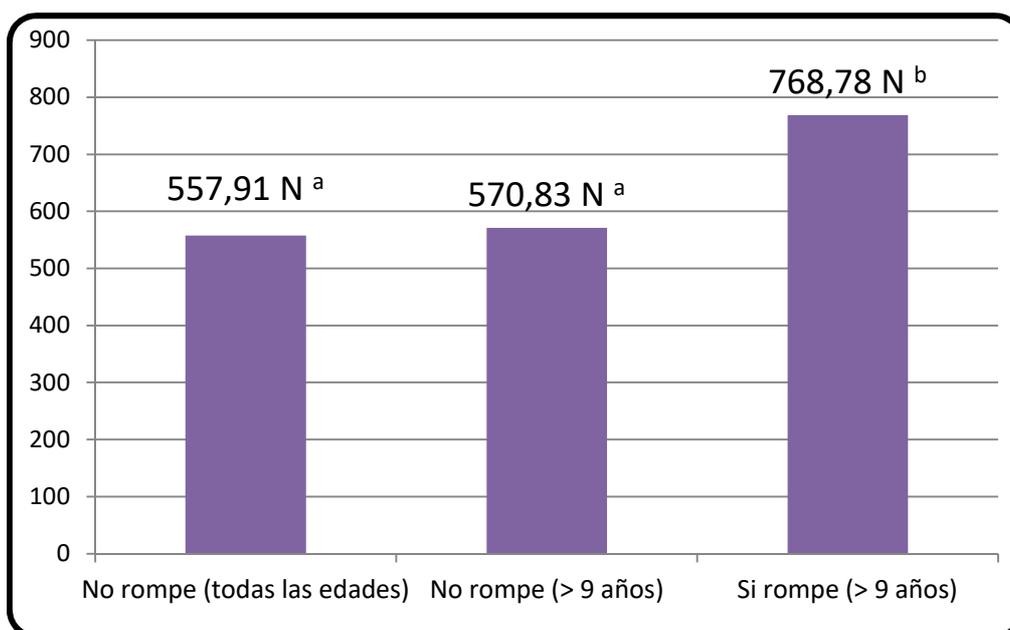


Figura 33: Cargas ejercidas, expresada en Newtons sobre las tráqueas de ovejas de todas las edades y del grupo de más de nueve años para alcanzar la mitad del diámetro traqueal. Los grupos de edad con letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ).

Viendo esta información, podemos concluir que es necesario aplicar más fuerza en aquellas tráqueas que se rompen durante el proceso del ensayo que sobre aquellas que no sufren fractura alguna dentro del mismo rango de edad.

- **Carga máxima de rotura**

La carga máxima de rotura es la máxima tensión que un material es capaz de aguantar antes de que su sección transversa se contraiga hasta un punto en el cual sufra cambios irreversibles y se fracture.

De las 35 tráqueas que participaron en el estudio, solo tres sufrieron fracturas de los anillos traqueales antes de que llegaran a colapsarse por completo. La fractura se produjo en las tres porciones en las que fue seccionada cada tráquea. Por lo tanto, podemos decir que de los 105 trozos de tráquea que formaron parte del ensayo 9 se rompieron.

Todas las tráqueas que llegaron a experimentar una carga máxima de rotura formaban parte del grupo de los animales mayores de 9 años.



**6.**

**Discusión**





## Discusión

La bibliografía sobre lesiones traqueales del ganado ovino, basada en el tipo de lesiones observadas, causas, incidencias, consecuencias, etc. es muy escasa, aunque sí se ha utilizado la tráquea de los pequeños rumiantes como un modelo experimental para estudios de medicina humana (Deoras et al., 1991; Schultz et al., 2006; Dupret-Bories et al., 2011).

### 6.1. ESTUDIO DE CAMPO

Esta parte del trabajo se realizó examinando por palpación la tráquea en toda su extensión a lo largo del cuello, hasta la entrada en el tórax, en todos los animales presentes en las 41 explotaciones comerciales de ganado ovino ubicadas en las provincias de Zaragoza y Huesca, aprovechando los manejos sanitarios propios de una Asociación de Defensa Sanitaria Ganadera. En cada rebaño se exploró al 100% del colectivo llegando a un total de 17.245 animales.

La prevalencia colectiva fue del 100%, lo cual nos indica que, en todas las explotaciones inspeccionadas, sin excepción, hay animales afectados en mayor o menor proporción. En cuanto a la prevalencia colectiva no hay estudios con los que poder comparar nuestros resultados. De todos los individuos inspeccionados, 2.075 de ellos presentaron algún tipo de lesión en la tráquea, lo que supone un 12% de animales afectados respecto al total. Esto deja patente que es una

## Discusión

---

afección mucho más habitual de lo que cabría esperar. Tampoco se han encontrado estudios con los que contrastar dichos datos.

Tampoco es de extrañar que se dé dicha prevalencia colectiva si tenemos en cuenta, como ya se explicó en el apartado de anatomía, que en comparación con todas las estructuras que conforman el cuello, la tráquea se encuentra muy superficial en la parte ventral, siendo muy susceptible a situaciones de compresión que pueden acabar en lesiones traqueales.

En el estudio, como conocemos la edad de todos los animales inspeccionados, hemos podido analizar cuál es la prevalencia de lesión traqueal en cada rango de edad. En todas las franjas de edad se han detectado lesiones, en mayor o menor medida, aunque con una baja prevalencia en los animales más jóvenes, la cual se va incrementando según avanza la edad. El porcentaje de afección desde los animales menores de un año hasta los mayores de 11 años se incrementa de la siguiente manera: 0,20%, 2,70%, 4,30%, 6,00%, 8,40%, 9,90%, 12,50%, 17,40%, 22,80%, 23,70%, 42,00% y 40,60%. Así pues, podemos observar, que en las primeras etapas de la vida de los individuos que participan en el estudio, las prevalencias de lesiones traqueales crecen de una manera lineal, pero a partir de cierta edad deja de ser lineal y, especialmente a partir de los 10 años, las prevalencias de disparan, es decir, a mayor edad, mayor riesgo de presentar lesión traqueal. El riesgo se incrementa hasta 37 veces más en los animales mayores de 10 años respecto a los más jóvenes.

Sin embargo, cuando analizamos individualmente cada rebaño, podemos detectar que este arquetipo no siempre se cumple. La edad media de nuestros rebaños varía desde los 2,85 años el más joven hasta los 8,79 años en el rebaño de mayor edad media y el porcentaje de lesión va desde el 2,7% en el rebaño donde menos lesiones se observa, hasta un 26,9% donde más lesiones se detectan. El rebaño de mayor prevalencia de lesión traqueal, con un 26,9% tiene una edad media de 8,79 años lo que confirma que, a mayor edad, mayor riesgo de presentar lesión traqueal. Sin embargo, encontramos ganados con medias de edad de 3,40, 5,26 y 3,02 años con unas prevalencias individuales del 24%, 23,9% y 23,5% (tabla 8).

## Discusión

---

Todo esto nos lleva a pensar que, además de la edad, pudieran existir otros factores que influyen de manera directa en la frecuencia de aparición de lesiones traqueales. Estos factores pueden estar relacionados con el tipo de manejo que practica el ganadero en su explotación.

La vida productiva media de una oveja no suele superar los 7 años, siendo a partir de esa edad cuando los animales sufren un claro descenso de la productividad. En nuestro trabajo observamos que es precisamente a partir de ese momento cuando la prevalencia de lesión traqueal aumenta de manera drástica, pasando de un 10% en el grupo de los animales de 4, 5 y 6 años a un 20,7% en los animales del grupo definido como viejas, que incluye al grupo de 7, 8 y 9 años. En el rango de edad, el grupo de las muy viejas, las de 10 años y más, la prevalencia en granja alcanza niveles del 41%. Más del 60% de los animales afectados tienen más de 7 años.

No se ha encontrado bibliografía que presente información alguna que confirme o contradiga estos datos. Pero sí que hay numerosos estudios, sobre todo referidos al hombre, que afirman que las propiedades mecánicas de las vías respiratorias proximales cambian con el desarrollo. Incluso desde hace tiempo es bien sabido que hay un aumento de la rigidez de la pared traqueal con la edad (Harris, 1959).

Los cambios en la estructura del proteoglicano del cartílago traqueal y en el contenido de colágeno que hemos descrito anteriormente dan lugar a un aumento gradual de la resistencia a la compresión del cartílago traqueal con la edad durante el desarrollo, hasta la maduración, haciéndolo más rígido (Roberts y Dare, 1991).

Sí que existe bibliografía que evidencia que la composición bioquímica (Roberts y Pare, 1991) y las propiedades mecánicas del cartílago de las vías respiratorias cambian con el avance de la edad en el hombre (Panitch et al., 1992; Kusafuka et al., 2001) y en los animales (Buthani et al., 1981; Inerot y Heinegard, 1983) y confirman los datos obtenidos en nuestro estudio. Así mismo, se ha estudiado

## Discusión

---

histológicamente la tráquea de la especie ovina y se ha detectado mediante microscopia óptica que existe una marcada diferencia en la disposición geométrica del cartílago traqueal con el desarrollo, es decir, hay una serie de cambios que ocurren en la estructura traqueal a medida que avanza la edad. Se producen alteraciones en la disposición geométrica de la tráquea y diferencias en las características de los materiales, es decir, en su composición. Considerados todas estas transformaciones en conjunto ayudan a explicar los cambios en el desarrollo de las propiedades funcionales de la tráquea (Deoras et al., 1991).

Numerosos estudios nos llevan a la conclusión, básica, de que la madurez hace que las vías respiratorias sean más rígidas y menos propensas a colapsarse por lo que la tráquea de las ovejas más jóvenes ante hipotéticos traumatismos sufriría menos roturas y lesiones de cartílagos gracias a su mayor capacidad de cumplimiento y elasticidad, siendo aplastada colapsándose pero sin romperse, o adquiriendo su forma original una vez cesa la presión contrariamente a lo que podría suceder en animales más viejos.

Aún con todos estos datos y estudios, nos hemos planteado que, además de la edad, deben de existir otros factores que influyan de manera directa en la frecuencia de aparición de lesiones traqueales.

Además de realizar el estudio estadístico, se llevó a cabo una agrupación de rebaños, basada en las prevalencias de lesiones traqueales. Esto nos hizo pensar igualmente en la posibilidad de que existan distintos factores en las explotaciones que aumenten o reduzcan la probabilidad de que haya lesiones traqueales. Los porcentajes de lesión varían desde el 6,40% hasta el 21,20%, no dependiendo exclusivamente de la edad y variando según las condiciones de cada explotación.

En el caso del perfil de las lesiones traqueales halladas en los animales explorados en los rebaños podemos concluir que se detectaron 2.075 animales afectados, es decir con algún tipo de alteración a nivel traqueal.

En relación a las zonas afectadas y prevalencias en el ganado ovino, tampoco hemos encontrado bibliografía al respecto. En nuestro estudio, la mayor parte de

## Discusión

---

las lesiones se han localizado en la zona media de la tráquea, un 34%, seguida de la parte posterior con un 26%. Sin embargo, las lesiones localizadas en la parte anterior solamente se detectaron en el 10% de los animales estudiados. Estos resultados pueden apoyarse en un estudio experimental de colapsabilidad de la tráquea de ovino llevado a cabo por Costantino et al. (2004), motivado por la necesidad de determinar el alcance de las deformaciones traqueales cuando se aplican cargas de presión. En dicho estudio se afirma que la configuración de la deformación, es decir, la oclusión de la luz traqueal, de los anillos localizados en la zona anterior, media y posterior depende en gran medida de la forma del anillo cartilaginoso y de la longitud del músculo liso, que varía a medida que recorremos cráneo-caudalmente la tráquea. Las regiones media y posterior presentan comportamientos de colapso similares, que se deben a la mayor región abierta del anillo cartilaginoso, ya que sus arcos cartilagosos tienen una forma similar y la extensión del músculo liso es más grande, reduciendo así las tensiones del arco del cartílago. Esto hace que estas dos zonas sean más propensas por lo tanto a lesionarse. Sin embargo, la parte anterior, presenta una forma diferente, cerrada posteriormente por una parte muscular más corta y las dos extremidades del cartílago son más largas, tendiendo de esta forma a apoyarse una contra la otra durante el colapso y dejando la luz abierta cuando se aplica la carga máxima de presión (imagen 3).

También se han observado lesiones traqueales localizadas en más de una región. Incluyéndolas todas en un mismo grupo denominado zona mixta, se posicionaría en un segundo puesto con un 30% por delante de la zona posterior. Dentro de ese grupo, las lesiones localizadas en la zona media-posterior son las más comunes con un 14,3% respecto al total, lo que estaría en conformidad con los resultados del experimento llevado a cabo por Costantino et al. (2004).

En relación al tipo de lesión, es decir, el número de anillos afectados que se puede definir también como la extensión de la lesión o su gravedad, no se ha encontrado bibliografía alguna que facilite datos y con los que poder comparar. En nuestro estudio, la mayoría de las alteraciones se limitan a una lesión

## Discusión

---

caracterizada por dos anillos afectados con un 25,97%, seguida de una afección de 3-4 anillos con un 23,47%.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre explotaciones. Se han agrupado todas las granjas analizadas según sus prevalencias de lesiones traqueales, obteniendo de esta forma 4 grupos, los de prevalencia baja con un 6,40%, los de prevalencia media-baja con un 11,40%, los de prevalencia media-alta con un 15,60% y los de prevalencia alta con un 21,20%. De esta forma se puede apreciar que pertenecer al grupo de mayor prevalencia respecto al de menor prevalencia hace que el animal tenga un riesgo 3,908 veces mayor de presentar lesiones traqueales.

Como ya hemos concluido anteriormente, a pesar de que la edad juega un papel importante en el desarrollo de las lesiones traqueales, resulta lógico pensar que existen otros factores que influyen de manera directa o indirecta en la aparición de las mismas. En el presente trabajo, hemos analizado la influencia de los diferentes factores de explotación que pudieran intervenir en la aparición de estas lesiones.

No hemos encontrado estudios que hablen de la influencia de la raza en la aparición de lesiones traqueales en el ganado ovino ni en otras especies. En nuestro trabajo, no hemos tenido en cuenta el factor racial porque nos podemos encontrar con distintas razas en un mismo rebaño y tampoco son muchas, quedando la importancia de este factor relegado a un segundo plano entre el resto de factores que sí puedan influir en la aparición de lesiones traqueales.

La planificación reproductiva podría ser un factor determinante para la aparición de alteraciones a nivel traqueal, pero no han aparecido resultados significativos entre los distintos calendarios de parición. Simplemente se ha registrado una prevalencia más elevada de lesiones traqueales entre los ganados en cuyo manejo se lleva a cabo monta continua. En las explotaciones donde se realiza este tipo de planificación, donde los machos no se apartan nunca y hay ovejas pariendo durante todo el año, generalmente no está bien definido ni delimitado el espacio

## Discusión

---

entre animales con un requerimiento energético de las hembras gestantes o en cría superior del resto, y la competencia por el espacio y el alimento sería mayor. Esto provocaría que los golpes de la tráquea con el borde del comedero se produjesen con más frecuencia y con mayor fuerza provocando la aparición de lesiones. Los resultados en rebaños con monta continua, tres pariciones, cuatro pariciones y el sistema tipo Star fueron de 15,57%, 14,07%, 12,43% y 10,41% respectivamente. Observamos que las prevalencias van disminuyendo progresivamente. Esto podría ser porque al hacer más pariciones, se forman lotes de hembras más pequeños y compiten menos durante la fase de parto.

Basándonos sólo en estos datos, no podemos afirmar que la planificación reproductiva tenga alguna influencia sobre la aparición de lesiones traqueales, probablemente porque quede desleído entre el resto de factores de la explotación.

En cuanto a la estabulación de los animales durante el periparto, tampoco se han detectado diferencias significativas, pero sí que hay una tendencia estadística respecto a la cantidad de días de estabulación. Así, cuantos más días estén los animales estabulados en la explotación, menos lesiones se aprecian. Aunque sin diferencias significativas, las mayores prevalencias de lesiones traqueales en el grupo de animales que salen al pasto, tanto antes como después del parto podrían ser explicadas por el manejo alimenticio del rebaño. Estos animales que salen a pastoreo reciben un aporte extra de concentrado a su llegada al aprisco con el fin de cubrir sus requerimientos nutricionales. El consumo de este alimento concentrado se produce en poco tiempo provocando que la competencia entre animales sea muy elevada y traduciéndose en empujones que podrían provocar lesiones de la tráquea con el borde o canto del comedero.

Respecto al tipo de pasto aprovechado, no se han observado diferencias significativas, lo cual, *a priori*, tampoco parecía que fuera un factor a tener muy en cuenta en este tipo de estudio. Pero sí que nos hemos parado a estudiar otros factores relacionados con la alimentación como pueden ser los comederos y el tipo de alimento suministrado durante las épocas de estabulación.

## Discusión

---

El modelo de comedero utilizado podría ser un factor determinante, pero es un factor muy variable y, en consecuencia, no ha dado diferencia significativa alguna. Lo que sí parece ser un factor influyente es la manera y forma de suministrar el alimento. Se ha observado una menor prevalencia en aquellos rebaños alimentados a base de ensilados, bien mediante el sistema de bolas o carros mezcladores y subproductos húmedos. Esto puede ser debido al tiempo empleado por el animal a la hora de ingerir estos productos, que es mayor que si se administra concentrado. El tiempo destinado al consumo del alimento podría estar relacionado inversamente con la competencia entre animales, que provocase un incremento en la prevalencia de las lesiones traqueales. Así se observa que aquellos animales que disponen de un alimento integral tienen una menor prevalencia. Esto apoyaría dicha hipótesis ya que el aporte de un alimento integral que supone el consumo de forraje y concentrado, a un mismo tiempo, hace que los animales coman más despacio y se incrementa el tiempo de disponibilidad del alimento en el comedero debido a su mayor capacidad de repleción. Así los animales que consumen un alimento integral tienen una menor competencia por el mismo y por lo tanto un menor riesgo de lesiones asociadas a los empujones que se producen durante el consumo de concentrados en poco tiempo.

Respecto a la realización o no de desvieje en las explotaciones analizadas, entre las que sí lo realizan, que son el 56,10%, generalmente llevan a cabo un desvieje basado en la producción con un 41,46% y el resto, un 14,63% basado en la edad de los animales. Los que no desviejan suponen el 43,90%. Entre ambos grupos no hay diferencias significativas, pero sí que hay cierta tendencia estadística donde el hecho de desviejar, basándose en la producción del animal, es un factor a tener en cuenta para que haya menos lesiones traqueales en la explotación. Esto puede ser debido a que las explotaciones donde se practica este tipo de desvieje denota que lleva un control del rebaño y son más técnicas con el objetivo de mejorar los datos económicos de la explotación, y además, se eliminan principalmente parte de los animales situados en los grupos de más afección, viejos y muy viejos.

## Discusión

---

En cuanto a la desinfección de naves y del agua suministrada sí que se observaron diferencias significativas que determinaban la presencia de lesiones traqueales. Respecto a la limpieza y desinfección de las naves, aquellos rebaños cuyos ganaderos no limpiaban y desinfectaban las instalaciones, entre las distintas épocas de parición, presentaban un mayor porcentaje de lesión traqueal (22,18%) frente a los que sí (11,55%). Lo mismo ocurre con el origen y desinfección del agua aportada al rebaño. La prevalencia de lesiones en animales que beben agua tratada es de 7,87% y la prevalencia entre los animales que no consumen agua tratada es de 15,48%. Sin embargo, es evidente que estos factores por sí mismos no determinan la existencia de lesiones en tráquea, pero nos hace reflexionar sobre la asociación entre manejo de la explotación y la presencia de animales con lesiones.

Mirando en conjunto todos estos factores podemos deducir que existe más de un factor clave que determina una mayor predisposición a padecer lesiones traqueales en nuestros rebaños, por ello, es lógico pensar que la causa es multifactorial y que habría que valorar en cada explotación todos sus factores en conjunto mediante una serie de valoraciones. Tras otorgar una puntuación a cada explotación, según varios criterios obtenidos en las encuestas epidemiológicas, dividimos las explotaciones en dos categorías, un grupo que engloba a las explotaciones consideradas como cualificadas, con una puntuación superior a catorce puntos sobre el máximo alcanzable que sería 24, y un segundo grupo donde estarían las explotaciones catalogadas como poco cualificadas, con una puntuación igual o inferior a catorce puntos. La prevalencia de lesiones traqueales en el grupo cualificado fue de 11,40%, mientras que en el grupo de las poco cualificadas fue de 19,70%. Estas diferencias significativas nos muestran que pertenecer a una explotación calificada como cualificada es un factor protector frente a la posibilidad de presentar lesiones traqueales.

En el estudio estadístico al enfrentar el factor de cualificación con el de la edad media de los de los animales que componen la ganadería en el momento del estudio, para poder conocer si además de las características propias de la

## Discusión

---

explotación, la edad media del rebaño era un factor que también influyese en la prevalencia de presentar lesiones traqueales o no, pudimos observar diferencias significativas. De este modo, centrándonos en los porcentajes acumulados hasta los 8 años, la edad media del rebaño no resultó un factor determinante en la aparición de lesiones traqueales, siendo la calificación obtenida por la ganadería la que determinó la susceptibilidad a padecer alteraciones traqueales, pero a partir de esa edad, es la edad media de los animales el factor determinante, más que la calificación obtenida. Esto puede ser debido a que la edad es el factor determinante y más decisivo a la hora de presentarse o no lesiones traqueales, independientemente del trabajo y forma de actuar del ganadero una vez que los animales alcanzan la edad de los ocho años aproximadamente.

A la hora de tratar el tema de los censos de las explotaciones podemos observar que los rebaños de mayor censo, presentan menos animales con lesiones traqueales. Esto puede ser debido a que, como ya se ha visto, las explotaciones que presentan mayores censos, son explotaciones por norma general más tecnificadas, se han especializado más en la materia y adaptado el censo ovino al aforo de las instalaciones.

Visto esto, aparte de que ya es sabido que las propiedades mecánicas de las vías respiratorias proximales cambian con el desarrollo, es decir con la edad del individuo, que se traducen en cambios en sus propiedades mecánicas, haciendo que las vías respiratorias altamente adaptables del animal joven se vuelvan más rígidas y menos colapsables con el aumento de la edad y por lo tanto más susceptibles de sufrir lesiones y fracturas. Por otra parte, cada ganadería cuenta con factores propios que influyen en la forma y frecuencia de aparición de dichas lesiones. Estos factores que definen cada explotación no son importantes o preponderantes por separado como para influir en el porcentaje de lesiones que se puedan presentar, sino que todos ellos, en su conjunto, definen una forma de trabajar en la ganadería correspondiente que la caracteriza y que hace que el riesgo de presentar dichas lesiones traqueales sea mayor o menor. En este sentido se puede considerar el factor explotación como un cajón de sastre que engloba

cuestiones no claramente conocidas y posibles interacciones entre los diferentes factores estudiados, dado que las características de cada explotación son únicas.

### **6.2. ESTUDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN**

El estudio de resistencias a la compresión se realizó en colaboración con el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Para ello, se trabajó sobre 35 tráqueas ovinas de distintas edades divididas en tres porciones, anterior, media y posterior. Sobre estas muestras, que eran un total de 105 fragmentos traqueales, se trabajó a dos niveles. En un primer momento se tomaron cuatro mediciones distintas en cada una de ellas y posteriormente se realizó el estudio de compresión.

#### **6.2.1. Medidas de las tráqueas**

Las mediciones llevadas a cabo en cada uno de los fragmentos traqueales que participaron en el estudio fueron el diámetro traqueal, el grosor de la pared traqueal en un lateral del anillo traqueal, otra medición en el lado opuesto y por último una más en la zona más ventral de la tráquea.

No se observó diferencia alguna en las mediciones de cada fragmento que componían la misma tráquea. Sí que se han observado diferencias significativas en el caso de los grosores de las zonas ventrales del anillo traqueal entre los distintos grupos de edad y concretamente en las zonas medias y posteriores de la tráquea. Lo mismo ocurrió con el diámetro traqueal, que también presentó diferencias significativas respecto a los distintos grupos de edad. Las mayores diferencias se han observado entre el grupo de tráqueas que no sufren rotura en el ensayo de compresión y entre las que sí, donde todas las mediciones tomadas en las tráqueas que fracturaron eran estadísticamente superiores. Incluso dentro del grupo de los animales de nueve años, que es donde se localizan las que se fracturaron respecto a las que no facturaron también presentaron diferencias

significativas, donde las fracturadas presentaron mediciones superiores. No se ha encontrado bibliografía para poder corroborar o refutar dichos datos.

### **6.2.2. Fuerzas de compresión**

La carga ejercida por la máquina Instron 5548 MicroTester, medida en Newtons, podemos definirla como la fuerza que se ejerce sobre la porción traqueal sometida al estudio hasta ocluir completamente su luz o que se produzca la rotura del anillo traqueal. La medición en la que nos hemos centrado, puesto que la resistencia a la compresión que presenta la tráquea no depende de su diámetro, es la carga que ha tenido que ejercerse hasta llegar a la mitad de su calibre. De este modo hemos visto que las mayores fuerzas se han tenido que aplicar en el grupo de 9 años o más, donde se han visto diferencias significativas respecto al resto de los grupos de edad. Esto es debido a los cambios morfológicos que va sufriendo la tráquea a lo largo de los años durante la madurez, la cual se va haciendo más rígida.

Respecto a las tráqueas que han sufrido roturas de sus anillos durante el ensayo, todas formaban parte del grupo de las ovejas más adultas, nueve años o más, esto es debido a que las tráqueas de las más jóvenes ante la misma situación no han sufrido roturas de cartílagos gracias a su mayor capacidad de cumplimiento y elasticidad que en animales adultos, siendo aplastada colapsándose pero sin romperse.



**7.**

**Conclusiones**





## Conclusiones

1. La prevalencia colectiva de lesiones traqueales en las 41 explotaciones analizadas es de un 100%, siendo la prevalencia individual media de los rebaños de un 12%.
2. El perfil de lesiones traqueales en las explotaciones ovinas estudiadas se caracteriza por la aparición de la afección localizada, preferentemente, en la zona media de la tráquea, con una extensión de 2 anillos afectados.
3. La presencia de lesiones es más frecuente en los animales de mayor edad. Más del 60% de los animales afectados, son animales del grupo de 7 años o mayores.
4. Los factores de explotación relacionados con la alimentación en estabulación influyen positivamente en la aparición de lesiones traqueales, siendo menor la presencia de dichas lesiones donde se suministran subproductos húmedos o donde se realiza la administración del alimento basada en ensilados, bien mediante bolas o carro mezclador.
5. El desvieje basado en la productividad y la desinfección de naves y agua de bebida de los animales son factores que se relacionan con unas prevalencias más bajas en cuanto a lesiones traqueales.
6. Mediante la valoración de las ganaderías gracias a las encuestas epidemiológicas, se establecen dos categorías de explotaciones

## Conclusiones

---

definiéndolas como cualificadas y poco cualificadas, donde las prevalencias de lesiones traqueales son superiores en las clasificadas como poco cualificadas.

7. Las mediciones tomadas en cada uno de los fragmentos traqueales que participaron en el estudio de compresión denotan que existe una relación entre el grosor de la zona ventral del anillo traqueal y el diámetro de la tráquea respecto a la edad, observándose mayores grosores en el grupo de los animales mayores de nueve años.
8. En cada una de las porciones traqueales, la carga necesaria para reducir a la mitad el calibre de las mismas es mayor en las muestras obtenidas de los animales de nueve años o más.
9. Respecto a las tráqueas que han sufrido roturas de sus anillos durante el ensayo de compresión, todas formaban parte del grupo de las muestras procedentes de las ovejas de nueve años o más.
10. En principio, no parece que ninguna de las alteraciones traqueales observadas a nivel de campo influya negativamente en la productividad o en el rendimiento de la explotación, pero en lo que sí pudiera jugar un papel importante, es en el tema del bienestar animal. A pesar de la poca atención que ha recibido el tema de las lesiones traqueales en el ganado ovino, a la vista de la extensión y frecuencia de esta afección entendemos que nos encontramos frente a un indicador de malestar del animal.



**8.**

**Resumen**





## Resumen

Las lesiones a nivel traqueal en la especie ovina han existido desde siempre, como en cualquier otra especie, sin embargo, no se ha encontrado bibliografía alguna que facilitara algún dato sobre prevalencias de lesiones traqueales en el ganado ovino, tipo de lesión, localización más habitual y factores predisponentes que pudieran facilitar su aparición.

El trabajo, del día a día, como profesionales veterinarios responsables de asociaciones de defensas sanitarias ganaderas, nos ha permitido detectar una gran cantidad de lesiones traqueales en nuestros rebaños. Esto nos hizo pensar que aunque estas alteraciones, a este nivel del sistema respiratorio, no parecen ser un factor que influya de manera significativa en la productividad de las explotaciones, sí pueden repercutir directamente en el bienestar del sujeto. Así pues, en el presente estudio nos propusimos ahondar en el conocimiento de esta patología desde distintas perspectivas, tratando de obtener la mayor cantidad posible de información que nos ayudase a entender esta patología, su incidencia y patogenia.

El trabajo se planteó con la finalidad de conocer la prevalencia de lesiones traqueales en el ganado ovino procedente de explotaciones comerciales, así como el perfil de la lesión e investigar los factores que pudieran influir en la aparición de este tipo de patología. El trabajo se llevó a cabo en dos vertientes. Por un lado, se realizó la inspección por palpación de las tráqueas de la totalidad de animales

## Resumen

---

de 41 granjas de las provincias de Huesca y Zaragoza, que son un total de 17.245 animales. Por otro lado, se tomaron 35 tráqueas sin alteración aparente a partir de animales de necropsias de distintas edades, dividiendo cada una en tres secciones. Cada una de esas secciones, se sometió a fuerzas de compresión gracias a una máquina especializada para tal fin en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza.

La prevalencia media individual de lesiones traqueales en los animales de los rebaños fue del 12%, y la prevalencia colectiva fue del 100%.

El perfil lesional, tras la exploración en campo, se caracterizó por una lesión localizada preferentemente en la zona media de la tráquea seguida por la zona denominada mixta y la zona posterior. En la zona mixta englobamos las lesiones que afectan a más de una zona a la vez en el mismo animal.

El tipo de lesión más habitual, que podemos calificarlo como la extensión que alcanza la lesión y por ende la gravedad, fue el caracterizado por la lesión de dos anillos consecutivos seguido de cerca por la afección de 3-4 anillos.

El factor directo que más influyó en la aparición de patologías traqueales fue la edad, que conforme aumenta, se incrementa la presencia de lesión. Se hizo visible el aumento de la incidencia de afecciones traqueales a partir de los siete años, y mucho más notable a partir de los diez años. Por otro lado, también influyeron otros factores intrínsecos a la explotación, como es el modelo de desvieje de los animales llevado a cabo por el profesional de la explotación y la forma de alimentar al ganado en estabulación. Los animales alimentados a base de ensilados, bien en forma de bolas o mediante carro mezclador, y los que se benefician de subproductos húmedos, presentaron menos lesiones traqueales. Del mismo modo, se detectaron prevalencias más bajas en cuanto a alteraciones a nivel traqueal en aquellas ganaderías en las que se llevaba a cabo la desinfección frecuente de las instalaciones de la explotación y del agua de bebida.

Gracias a las encuestas epidemiológicas que se llevaron a cabo en todas las ganaderías que participaron en el estudio, pudimos asignar unas valoraciones a

## Resumen

---

cada una de ellas, y de este modo establecer dos categorías de explotaciones definiéndolas como cualificadas y poco cualificadas, donde las prevalencias superiores de lesiones traqueales se obtuvieron en las explotaciones clasificadas como poco cualificadas.

El estudio realizado en el laboratorio de ingeniería, que ha consistido en someter a distintos fragmentos de tráqueas a fuerzas de compresión para conocer su resistencia, ha dado como resultado que las mayores fuerzas que se han tenido que aplicar para llegar a la mitad del calibre de la tráquea han sido en el grupo de los animales de nueve años o más. Esto es debido a la mayor rigidez que va alcanzando la estructura traqueal con el paso de los años. También se ha visto que las tráqueas que han sufrido roturas de sus anillos durante el ensayo, formaban parte del grupo de los animales más viejos, ovejas de nueve años o más.

Palabras clave: ganado ovino, lesión traqueal, estenosis traqueal





**9.**

**Summary**





## Summary

Tracheal lesions in sheep have always existed, as with any other species. However, no bibliography has been found to provide any information about the prevalence of tracheal lesions in sheep, kinds of injury, most usual location and predisposing factors that could facilitate their appearance.

Our day-to-day work as veterinary professionals responsible for livestock health defence associations has allowed us to detect a large number of tracheal lesions in our flocks. This has suggested that although these alterations, at this level of the respiratory system, do not seem to be a factor that significantly influences the productiveness of exploitation, they can be a cause that directly affects the welfare of the subject. Therefore, in this study we set out to investigate this phenomenon from different perspectives, trying to obtain as much information as possible to help us understand this pathology, its incidence and pathogenesis.

The purpose of the study was to determine the prevalence of tracheal lesions in sheep from commercial farms, as well as to describe the characteristics of the lesions and investigate the factors that influence the appearance of this kind of pathology. The work carried out had two aspects. On the one hand, inspection done by palpating the tracheas of all the animals on 41 farms in the Spanish provinces of Huesca and Zaragoza, with a total of 17 245 animals. On the other hand, 35 tracheas obtained from necropsy animals of different ages were each divided into three sections. Each of these sections was submitted to compression

## Summary

---

forces by a specialized machine belonging to the Institute of Engineering Research of Aragon (I3A) at the University of Zaragoza.

The mean individual prevalence of tracheal lesions in herd animals was 12%, and the collective prevalence was 100%.

The lesional profile after the field exploration was characterized as a localized lesion most commonly in the middle zone of the trachea followed by the so-called mixed zone and the posterior zone. In the mixed zone we include lesions that affect more than one area at a time in the same animal.

The most common type of injury, described in terms of the extension of the injury and therefore its severity, was the injury of 2 consecutive rings followed closely by 3-4 affected rings.

The direct factor that most influenced the appearance of tracheal pathologies was age, which, as it increases, so does the presence of injury. The increase in the incidence of tracheal affections became significant after 7 years and much more noticeable after 10 years. However, other factors intrinsic to exploitation also had an influence, such as the system by which animals are discarded by the farmer and the way livestock is fed in stabling. Animals fed on silage, either in the form of balls such as those from a mixer wagon, or prepared using damp by-products, presented fewer tracheal lesions. In the same way, lower prevalences were detected in terms of alterations at the tracheal level on those farms where a disinfection plan of the exploitation facilities and drinking water was carried out.

Thanks to the epidemiological survey that we did on all the farms that participated in the study, we were able to assign valuations to each of them, and in this way to establish two categories of farm, defining them as skilled and low-skilled, with the higher prevalences of tracheal lesions obtained in farms classified as low-skilled.

## Summary

---

The study carried out in the engineering laboratory, which consisted of applying compression forces to different fragments of tracheas to discover their resistance, has given the result that the greater forces that had to be applied to reach half the calibre of the trachea were in the group of animals aged 9 years or over. This is due to the greater rigidity that occurs in the tracheal structure as time passes. It has also been seen that tracheas whose rings ruptured during the test were part of the group of the oldest sheep, 9 years or over.

Key words: sheep, tracheal lesion, tracheal stenosis





**10.**

**Bibliografía**





## Bibliografía

-Abecia, A., Forcada, F. (2010): Manejo reproductivo en ganado ovino. 1º edición. Editorial Servet: 24, 41-45, 89-97.

-Alonso, G., Barreto, J.; Cortés, M.; Ramírez, J.; Camacho, F. (2011): Anatomía quirúrgica del abordaje cervical anterior en la oveja. Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología, 25 (3): 280-284.

-Al-Qadi, M. O., Artenstein, A. W., Braman, S. S. (2013): The “forgotten zone”: acquired disorders of the trachea in adults. Respiratory Medicine, 107 (9): 1301-1313.

-Aranaz, A., Liébana, E., Mateos, A., Domínguez, L., Vidal, D., Domingo, M., González-Llamazares, O., Rodríguez-Ferri, E., Bunschotten, A., Van Embden, J.D.A., Cousins, D. V. (1996): Spacer oligonucleotide typing of Mycobacterium bovis strains from cattle and other animals: a tool for studying epidemiology of tuberculosis. Journal of Clinical Microbiology, 34 (11): 2734-2740.

-Barrow, A., Pandit, J. J. (2014): Lung ventilation and the physiology of breathing. Surgery (Oxford), 32 (5): 221-227.

-Bates, A. J. (2014): Mechanics of Airflow in Human inhalation. Tesis doctoral. Department of Aeronautics. Imperial Collage London.

-Bates, A. J., Comerford, A., Cetto, R., Schroter, R. C., Tolley, N. S., Doorly, D. J. (2016): Power loss mechanisms in pathological tracheas. Journal of Biomechincs, 49: 2187-2192.

-Bezoz, J. (2011): Tesis doctoral: Tuberculosis caprina: estudio de la respuesta inmune y aportaciones a su diagnóstico. Departamento de Sanidad Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid.

## Bibliografía

---

- Bhutani, V. K., Koslo, R. J., Shaffer, T. H. (1986): The effect of tracheal smooth muscle tone on neonatal airway collapsibility. *Pediatric Research*, 20: 492–495.
- Bhutani, V. K., Rubenstein, S. D., Shaffer, T. H. (1981): Pressure-volume relationships of tracheae in fetal newborn and adult rabbits. *Respiration Physiology*, 43 (3): 221-231.
- Bocquier, F., Theriez, M., Prache, S., Brelurut, A. (1990): Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos. Capítulo 13, alimentación de ovinos. Editorial: Mundi Prensa Libros: 225-247.
- Breatnach, E., Abbott, G. C., Fraser, R. G. (1984): Dimensions of the normal human trachea. *American journal of Roentgenology*, 142: 903-906.
- Breeze, R.G., Wheeldon, E. B. (1977): The cells of the pulmonary airways. *American Review of Respiratory Disease*, 116 (4): 705-777.
- Brouns, M., Jayaraju, S. T., Lacor, C., De Mey, J., Noppen, M., Vincken, W., Verbanck, S., (2007): Tracheal stenosis: a flow dynamics study. *Journal of Applied Physiology*, 102 (3): 1178–1184.
- Burnard, E. D., Grattan-Smith, P., Picton-Warlow, C. G., Grauaug, A. (1965): Pulmonary insufficiency in prematurity. *Australian Paediatric Journal*, 1: 12–38.
- Church, C. D. (1988): El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A.: 487- 489.
- Costantino, M. L.; Bagnoli, P.; Dini, G.; Fiore, G. B.; Soncini, M.; Corno, C.; Acocella, F.; Colombi, R. (2004): A numerical and experimental study of copliance and collapsibility of preterm lamb tracheae. *Journal of Biomechanics*, 37: 1837-1847.
- Croteau, J. R., Cook, C. D. (1961): Volume-pressure and length-tension measurements in human tracheal and bronchial segments. *Journal of Applied Physiology*, 16: 170-1172.
- Cuss, F. M., Barnes, P. J. (1987): Epithelial mediators. *American Review of Respiratory Disease*, 13: 32-35.
- Dahme, E., Weiss, E. (1989): Anatomía patológica especial veterinaria. Editorial Acribia, S.A.: 82-83, 102-106.

## Bibliografía

---

- Darpel, K. E., Monaghan, P., Simpson, J., Anthony, S. J.; Veronesi, E., Brooks, H. W., Elliott, H., Brownlie, J., Takamatsu, H., Mellor, P. S., Mertens, P. (2012): Involvement of the skin during bluetongue virus infection and replication in the ruminant host. *Veterinary Research*, 43 (40): 1-16.
- Daza, A. (1997): Elementos de Producción Ovina. Editorial: Departamento de Publicaciones Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de Madrid (UPM): 262.
- Daza, A. (2002): Mejora de la productividad y planificación de explotaciones ovinas. Editorial Agrícola Española, S.A.: 15-20, 153-157.
- De Santiago, E. (2017): Seguimiento del niño traqueostomizado. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Facultad de Medicina.
- Delgado, L. C., Gutiérrez, P. (2009): Manual práctico de manejo de una explotación de ovino de carne. Colección de Prácticas en el Sector Agropecuario. Junta de Castilla y León. Capítulo 5: Índices técnicos: 16-18.
- Deoras, K. S., Wolfson, M. R., Searls, R. L., Hilfer, S. R., Shaffer, T. H. (1991): Development changes in tracheal structure. *Pediatric Research*, 30 (2): 170-175.
- Díaz, E., Aguilar, F., Vázquez, J. (2005): Manual para el diagnóstico de enfermedades en ovinos y caprinos en México. Consejo técnico consultivo nacional de Sanidad Animal. Comité de Salud y Producción Ovina y Caprina.
- Dupret-Bories, A., Schultz, P., Vrana N. E., Lavalle, P., Debry, C. (2011): Development of surgical protocol for implantation of tracheal prostheses in sheep. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 48 (7): 851-864.
- Espejo, M., López, F., Espejo, A. M. (2009): Ovinotecnia: producción y economía de la especie ovina. Capítulo 13: Pastoreo en la especie ovina. Editorial: Prensas Universitarias de Zaragoza: 167-189.
- Evans, M.J., Cox, R.A., Shami, S.G., Wilson, B., Plopper, C.G. (1989): The role of basal cells in attachment of columnar cells to the basal lamina of the trachea. *American Journal Respiratory Cell and Molecular Biology*, 1 (6): 463-469.
- Ezri, T., Evron, S., Hadad, H., Roth, Y. (2005): Tracheostomy and endotracheal intubation: a short history. 144 (12): 891-983.
- FAO. (2017): Feostat 2017. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QA/visualize>).

## Bibliografía

---

- Ferguson, D. J., Wild, J. J., Wangenstein. O. H. (1950): Experimental resection of the trachea. *Surgery*, 28 (3): 597–619.
- Ferrer, L. M., Gil, J. A.; Pereira, J.; Collantes, E.; Álvarez, G.; Rodolaski, A.; Fariñas, F. Zorrilla, I. (2005): Guía del aborto ovino. Editorial: Laboratorios Intervet, S.A.:10-13.
- Gal, B., López, M., Martín, A. I., Prieto, J. (2007): Bases de la fisiología. 2ª ed. Editorial: Tébar S.L.: 237-248.
- García, A., Castejón, F., De la Cruz, L. F., González, J., Murillo, M. D., Salido, G. (1995): Fisiología Veterinaria. Capítulo 28: Ventilación pulmonar. Editorial: Mc Graw Hill-Interamerica: 383-395.
- García Marín, J. F., Luján, L., Badiola, J. J. (1989): Diagnóstico de tuberculosisovina. *Producción ovina Itea* 9: 163-165.
- Gartner, L. P., Hiatt, J. L. (2015): Atlas en color y texto de Histología. 6ª ed. Editorial: McGraw-Hill Interamericana: 288-290.
- Ghezzi, M. (2004): Espacio visceral del cuello, órganos del cuello, surco de la yugular. Universidad nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. Área de anatomía de los animales domésticas, 36.
- Gil, L. (1997): Análisis de sensibilidad con comportamiento no lineal del material y su aplicación en el diseño asistido de estructuras. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería. Capítulo 3.
- González, J. M. (2015): Factores que condicionan la supervivencia de los corderos tipo Ternasco. Estudio del Complejo Respiratorio ovino. Tesis doctoral. Patología Animal, Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.
- González, M<sup>a</sup>. E., Roja, S. (2010): Anatomía veterinaria. 2. Estudio de la tráquea y del pulmón. Morfología y lobulaciones pulmonares. Reduca (Recursos educativos). Serie veterinaria. 2 (1): 21-28.
- Grange, J. M., Yates, M. D., Boughton, E. (1990): A review. The avian tubercle bacillus and its relatives. *Journal of Applied Bacteriology*, 68 (5): 411-431
- Grillo, H. C. (2003): Development of tracheal surgery: a historical review. Part 1: techniques of tracheal surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, 75 (2): 610-619.

## Bibliografía

---

- Grillo, H. C. (2003): Development of tracheal surgery: a historical review. Part 2: Treatment of tracheal Diseases. *The Annals of Thoracic Surgery*, 75 (3): 1039-1047.
- Gutiérrez, M., Samper, S., Jiménez, M. S., Van Embden, J. D. A., García-Marín, J. F., Martín, C. (1997): Identification by spoligotyping of a caprine genotype in *Mycobacterium bovis* strains causing human tuberculosis. *Journal of Clinical Microbiology*, 35 (12): 3328-3330
- Habela, M., Sevilla, R. G., Peña, J. (2001): Principales miasis que afectan al ganado ovino. *Revista Mundo Ganadero*, 137: 66-70.
- Harris, R. S., (1959): Tracheal extension in respiration, *Thorax*, 14: 201–210.
- Harrison, M. R., Adzick, N. S., Flake, A. W. (1998): Correction of congenital diaphragmatic hernia in utero VIII: Responses of the hypoplastic lung to tracheal occlusion. *Journal of Pediatric Surgery*, 31 (10): 1339–1348.
- Haxhiu-Poskurica, B., Ernsberger, P., Haxhiu, M. A., Miller, M. J., Cattarossi, L., Martin, R. J. (1993): Development of cholinergic innervation and muscarinic receptor subtypes in piglet trachea. *American Journal Physiology* 264: 606-614.
- Hernandez, C., Bergeret, J. P., Hernandez, M. (2007): Traqueostomía: principios y técnicas quirúrgicas. *Cuadernos de cirugía*, 21: 92-98.
- Hill, P., Goulding, D., Webber, S. E., Widdicombe, J. G. (1989): Blood sinuses in the submucosa of the large airways of the sheep. *Journal of Anatomy*, 162: 235-247.
- Holzhäuser, U., Lambert, R. K. (2001): Analysis of tracheal mechanics and applications. *Journal of Applied Physiology*, 91: 290-297.
- <http://slideplayer.es/slide/1108222/>
- <http://wzar.unizar.es/acad/histología>: Histología, Facultad de Medicina. Universidad de Zaragoza. Atlas de Histología. Vías respiratorias.
- Hughes, T. (1965): Microcirculation of the tracheobronchial tree. *Nature*, 206: 425-426
- Illanes, J., Leitchle, J., Leyt, V., Tapia, L. F., Fertilio, B., Castro, M. (2014): Descripción histológica de los diferentes segmentos del aparato respiratorio de avestruz (*Struthio camelus* var. *Domesticus*). *International Journal of Morphology*, 32 (4): 1325-1336.

## Bibliografía

---

- Inerot, S., Heinegard, D. (1983): Bovine tracheal cartilage proteoglycans. Variations in structure and composition with age. *Collagen and Related Research*, 3 (3): 245-262.
- INRA (1988): Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos. Editorial: Mundi-Prensa: 432
- Junqueira, L.C. y Carneiro, J. (2015): *Histología básica, Texto y Atlas*. 12ª ed. Editorial: McGraw-Hill Interamericana: 99-104, 126-129, 334-339.
- Kamel, K. S., Lau, G., Stringer, M. D. (2009): In vivo morphometry of the human trachea. *Clinical Anatomy*, 22 (5): 571-579.
- Kawamoto, S., Adelstein, R. S. (1987): Characterization of myosin heavy chains in cultured aorta smooth muscle. *Journal of Biological Chemistry*, 262 (15): 7282-7288.
- Köning, H. O., Liebich, H. G. (2008): *Anatomía de los animales domésticos. Texto y atlas en color. Tomo II* 2ª ed. Editorial: Médica Panamericana: 96-102.
- Koslo, R. J., Bhutani, V. K., Shaffer, T. H. (1986): The role of tracheal smooth muscle contraction on neonatal tracheal mechanics. *Pediatric Research*, 20 (12): 1216- 1220.
- Kusafuka, K., Yamaguchi, A., Kayano, T., Takemura, T. (2001): Ossification of Tracheal Cartilage in Aged Humans: A Histological and Immunohistochemical Analysis. *Journal Bone and Mineral Metabolism*, 19(3): 168-174.
- Lacasta, D., Ferrer, L. M., Ramos, J. J., González, J. M., De las Heras, M. (2008): Influence of climatic factors on the development of pneumonia in lambs. *Small Ruminant Research*, 80 (1-3): 28-32.
- Lacasta, D., González, J. M., Ramos, J. J., Ferrer, L. M., Ruiz de Arcaute, M., Borobia, M. (2011): El complejo respiratorio ovino. *Albeitar*, 151: 12-14.
- Lafuente, N. (2013): Respuesta hemodinámica y natriurética al neumoperitoneo laparoscópico con CO2 combinado con la posición de Trendelenburg y ventilación mecánica. Tesis doctoral. Departamento: Farmacología y Fisiología. Universidad de Zaragoza.
- Lechtzin, N. (2018): Mecanismos de defensa del sistema respiratorio. Manual MSD. Merck Sharp & Dohme Corp.

## Bibliografía

---

- Leiva, S. M., Montero, W. R., Reula, F. R., Sánchez, J. L., Steinschütz, C. M., Steinschütz, C. A., Zapata, M. G. (2010): Temas de Cuello. Tema 70. 1ª.03 Fisiología de la tráquea: 1-7.
- Lindley, J. A. y Whitaker, J. H. (1996): Agricultural building and structures. Editorial: American Society of Agricultural Engineers: 636.
- López, M. (2009): Ovinotecnia: producción y economía de la especie ovina. Capítulo 21: Crecimiento y desarrollo en la especie ovina. Editorial: Prensas Universitarias de Zaragoza: 277-299.
- Malve, M., Pérez del Palomar, A., Trabelsi, O., López-Villalobos, J. L., Ginel, A., Doblaré, M. (2011): Modeling of the fluid structure interaction of a human trachea under different ventilation conditions. International Communications in Heat and Mass Transfer, 38 (1): 10-15.
- MAPAMA (2015): Informe Nacional de Ovino y Caprino 2015. Red Nacional de Granjas Típicas.
- MAPAMA (2016): El sector del ovino y caprino en cifras. Principales indicadores económicos. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. Subdirección General de Productos Ganaderos.
- MAPAMA (2018): Trazabilidad del ganado ovino y caprino – Ovino y caprino – Identificación animal – Trazabilidad animal – Ganadería – mapama.es. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente.
- María, G. A., Miranda de la Lama, G. (2009): Ovinotecnia: producción y economía de la especie ovina. Capítulo 4: Aspectos de bienestar animal en la especie ovina. Editorial: Prensas Universitarias de Zaragoza: 57-64.
- Mariassy, A. T., Plopper, C. G. (1983): Tracheobronchial epithelium of the sheep: I. Quantitative light-microscopic study of epithelial cell abundance, and distribution. The Anatomical Record, 205 (3): 263-275.
- Martín, W. B. (1983): Enfermedades respiratorias de los pequeños rumiantes, provocadas por virus y micoplasmas. Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties, 2 (2): 357-378.
- Meana, A., Calvo, E., Rojo, F. A. (2001): Parásitos internos de la oveja en pastoreo. Editorial: Schering-Plough Animal Health: 103-129.
- Miller, M. E., Evans, H. E., DeLahunta, A. (1997): Disección del perro. 4º ed. Editorial: McGraw-Hill Interamericana: 303.

## Bibliografía

---

- Mimouni-Benabu, O., Meister, L., Giordano, J., Fayoux, P., Loundon, N., Triglia, J. M., Nicollas, R. (2012): A preliminary study of computer assisted evaluation of congenital tracheal stenosis: A new tool for surgical decision-making. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 76 (11): 1552–1557.
- Mitchell, P. G., Magna, H. A., Reeves, L. M., Lopresti-Morrow, L. L., Yocum, S. A., Rosner, P. J., Geoghegan, K. L., Hambor, J. E. (1996): Cloning, expression, and type II collagenolytic activity of matrix metalloproteinase-13 from human osteoarthritic cartilage. *Journal of Clinic Investigation* 97 (3): 761–768.
- Mohammad, M. A., Sparrow, M. P. (1988): Changes in myosin heavy chain stoichiometry in pig tracheal smooth muscle during development. *Federation of European biochemical societies*, 228 (1): 109-112.
- Montalvo, C. E. (2010): *Biología celular e histología médica. Tejido Cartilaginoso*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina. Departamento de Biología Celular y Tisular.
- Muñoz-Mendoza, M., de Juan, L., Menéndez, S., Ocampo, A., Mourelo, J., Sáez, J. L., Domínguez, L., Gortázar, C., García Marín, J. F., Balseiro, A. (2012): Tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium caprae* in sheep. *The Veterinary Journal*, 191 (2): 267-269.
- Muñoz-Mendoza, M., Romero, B., del Cerro, A., Gortáza, C., García-Marín, J. F., Menéndez, S., Mourelo, J., de Juan, L., Sáez, J. L., Delahay, R. J., Balseiro, A. (2015): Sheep as a potential source of bovine TB: epidemiology, pathology and evaluation of diagnostic techniques. *Transboundary and Emerging Diseases*, 63 (6): 635-646.
- Noden, D. M y De Lahunta, A. (1990): *Embriología de los animales domésticos*. Editorial: Acribia, S. A.: 305-310.
- OIE (2018): Organización Mundial de Sanidad Animal: <http://www.oie.int/es/bienestar-animal/el-bienestar-animal-de-un-vistazo/>
- Olfati, A., Moghaddam, G., Bakhtiari, M. (2013): Diagnosis, treatment and prevention of pregnancy toxemia in ewes. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1 (11): 1452-1456.
- Olsen, C. R., Stevens, A. E., McIlroy, M. B. (1967): Rigidity of trachea and bronchi during muscular constriction. *Journal of Applied Physiology*, 23 (1): 27-34.

## Bibliografía

---

- Palombina, B., Coburn, R. F. (1972): Control of compressibility of the canine trachea. *Respiration Physiology*, 15 (3): 365-383.
- Panitch, H. B., Deoras, K., Wolfson, M. R., Shaffer, T. H. (1992): Maturational changes in airway smooth muscle structure- function relationships. *Pediatric research*, 31 (2): 151-156.
- Panitch, H. B., Allen, J. L., Ryan, J. P., Wolfson, M. R., Shaffer, T. H. (1989): A comparison of preterm and adult airway smooth muscle mechanics. *Journal of Applied Physiology*, 66 (4): 1760-1765.
- Park, J. H., Hong, J. M., Ju, Y. M., Jung, J. W., Kang, H-W, Lee, S. J., Yoo, J. J., Kim, S. W., Kim, S. H., Cho, D-W. (2015): A novel tissue-engineered trachea with a mechanical behavior similar to native trachea. *Biomaterials*, 62: 106-115.
- Pasalodos, J. D. (2012): Cuidados integrales al paciente traqueostomizado. Editorial: Bubok: 13-15.
- Pavelka, M., Ronge, H. R., Stockinger, G. (1976): Comparative study of tracheal epithelium of different mammals. *Acta Anatomica. (Basel)*, 94 (2): 262-282.
- Penn, R. B., Wolfson, M. R., Shaffer, T. H. (1989): Developmental differences in tracheal cartilage mechanics. *Pediatric Research*, 26 (5): 429-433.
- Penn, R. B., Wolfson, M. R., Shaffer, T. H. (1988): Influence of smooth muscle tone and longitudinal tension on the collapsibility of immature airways. *Pediatric Pulmonology*, 5 (3): 132-138.
- Plopper, C. G., Mariassy, A. T., Wilson, D. W., Alley, J. L., Nishio, S. J., Nettekheim, P. (1983): Comparison of nonciliated tracheal epithelial cells in six mammalian species: ultrastructure and population densities. *Experimental Lung Research*, 5 (4): 281-294.
- Popesko, P. (1989): Atlas de anatomía topográfica de los animales domésticos. Tomo I Cabeza y cuello. 2ª edición. Ed: Masson S.A.: 72-75.
- Rains, J. K., Bert, J. L., Roberts, C. R., Pare, P.D. (1992): Mechanical properties of human tracheal cartilage. *Journal of Applied Physiology*, 72 (1): 219-225.
- Rajesh, O., Meher, R. (2005): Historical Review of Tracheostomy. *The Internet Journal of Otorhinolaryngology*, 4 (2): 1-4.

## Bibliografía

---

- Ramirez, A. M. (2011): Modelo y simulación del tejido músculo-esquelético. Validación experimental con el músculo tibial anterior de rata. Tesis Doctoral. Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza.
- Ramos, J. J., Ferrer, L., M. (2007): La exploración clínica del ganado ovino. Editorial Servet, Diseño y Comunicación S.L.: 129-132.
- Reece, W. O. (2015): Duke's Physiology of Domestic Animals. 13ªed. Editorial Wiley Blackwell: 203-259.
- Reina, D., Frontera, E. M., Pariente, F. J., Habela, F. J. (2009): Las ectoparasitosis más importantes de los ovinos. Revista Ganadería, 61: 32-39.
- Reynolds, S. D., Pikerton, K. E., Marriassy, A. T. (2015): Comparative Biology of the normal lung. Chapter 6: Epithelial cells of trachea and bronchi. 2º ed. Editorial: Richard A. Parent: 61-81.
- Roberts, C. R., Pare, P.D. (1991): Composition changes in human tracheal cartilage in growth and ageing, including changes in proteoglycan structure. American Journal of Physiology Lung Cellular and Molecular Physiology, 261 (2): 92-101.
- Roberts, C. R., Rains, J. K., Pare, P. D., Walker, D. C., Wiggs, B., Bert, J. L. (1998): Ultrastructure and tensile properties of human tracheal cartilage. Journal of Biomechanics 31 (1): 81-86.
- Rojas, M.; Rodríguez, A. (1987): Periodo fetal. En: Embriología para Medicina Veterinaria. Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
- Ross, M. H., Pawlina, W. (2013): Histología. Texto y Atlas color con Biología Celular y Molecular. 6ª ed. Editorial Médica panamericana: 198-211, 163-164, 173-178, 670-675.
- Sadler, T. W. (2012): Langman's Medical Embriology. 12ª ed. Editorial: Lippincott Williams and Wilkins. Wolters Kluwer Health: 201-204.
- Safshekan, F., Tafazzoli-Shadpour, M, Abdouss, M, Shadmehr, M. B. (2017): Viscoelastic Properties of Human Tracheal Tissues. Journal of Biomechanical Engineering, 139 (1): 1-9.
- Saunders, C. J., Reynolds, S. D., Finger, T. E. (2013): Chemosensory brush cells of the trachea: a stable population in a dynamic epithelium. American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology, 49 (2): 190-196.

## Bibliografía

---

- Schultz, P., Vautier, D., Charpiot, A., Lavallo, P., Debry C. (2007): Development of trachea prostheses made of porous titanium: a study on sheep. *European Archives of Otorhinolaryngology*, 264 (4): 433-438.
- Seidel, C. L., Ross, B., Michael, L., Freedman, J., Burdick, B., Miller, T. (1987): Maturational changes in the pharmacological characteristics and actomyosin content of canine arterial and venous tissue. *Pediatric research*, 21: 152-158.
- Serrano, C. (2012): Estudio de las interacciones entre varios tipos de stent y tejido traqueal en modelo animal. Tesis doctoral. Patología animal. Universidad de Zaragoza.
- Serrano, R. (2017): Introducción al comportamiento mecánico. Deformación elástica. Tema 1. Libro ciencia de los materiales. Universidad de Málaga. 1-16.
- Shaffer, T. H., Bhutani, V. K., Wolfson, M. R., Penn, R. B., Tran, N. N. (1989): In vivo mechanical properties of the developing airway. *Pediatric research*, 25 (2): 143-146.
- Shaffer, T. H., Penn, R. B., Wolfson, M. R. (2017): Fetal and Neonatal Physiology. Sección XII: The lung. Capítulo: 66 Upper airway structure: function, regulation and development. 5ª ed. Editorial: Elsevier: 676-685.
- Sharp, J. M., Nettleton, P. F. (2000): Enfermedades de la oveja. Capítulo 26: Infecciones respiratorias víricas agudas. 2ª ed. Editorial: Acribia, S.A.: 213-217.
- Silverthorn, D. (2009): Fisiología humana. Un enfoque integrado. 4ª ed. Editorial Médica Panamericana: 462-465, 569-578.
- Sisson, S., Grossman, J. D. (1982): Anatomía de los animales domésticos. Tomo II. 5ª ed. Editorial: Masson: 2064-2104.
- Sisson, S., Grossman, J. D. (1959): Anatomía de los animales domésticos. 4º ed. Editorial Salvat: 512-514, 527-258, 537-540.
- SITRAN: Sistema Integral de trazabilidad animal. <https://www.mapa.gob.es/gl/ganaderia/temas/trazabilidad-animal/registro/>.
- Slatter, D. (1995): Manual de cirugía en pequeñas especies. 1ª ed. Editorial: McGraw-Hill Interamericana: 297.
- Smith, B. P (2010): Medicina interna de grandes animales. 4ª ed. Editorial: Elsevier Mosby: 599-600.
- Smok, C.; Roa, I.; Rojas, M. (2014): Desarrollo fetal en mamíferos. *International Journal of Medical and Surgical Science*, 1 (2): 139-145.

## Bibliografía

---

- Sørensen, J. R., Hegedüs, L., Kruse-Andersen, S., Godballe, C., Bonnema, S. J. (2014): The impact of goitre and its treatment on the trachea, airflow, oesophagus and swallowing function. A systematic review. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 28 (4): 481-494.
- Sparrow, M. P., Mitchell, H. W. (1990): Contraction of smooth muscle of pig airway tissues from before birth to maturity. *Journal of Applied Physiology*, 68 (2): 468-477.
- Stuart-Smith, K., VanHoutte, P. M. (1988): Airway epithelium modulates the responsiveness of porcine bronchial smooth muscle. *Journal of Applied Physiology*, 65 (2): 721-727.
- Takano-Ohmuro, H., Obinata, T., Mikawa, T., Masaki, T. (1983): Changes in myosin isozymes during development of chicken gizzard muscle. *Journal of Biochemistry*, 93: 903-908.
- Tchirikov, M., Hecher, K., Deprest, J., Verbeken, E., Roubliova, X., Schröder, H. J. (2005): Pulmonary circulation of fetal sheep with lung hiperplasia following tracheal oclusión. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 25 (3): 277-281.
- Teng, Z., Ochoa, I., Li, Z., Lin, Y., Rodríguez, J. F., Bea, J. A., Doblare, M. (2008): Nonlinear mechanical property of tracheal cartilage: A theoretical and experimental study. *Journal of Biomechanics*, 41 (9): 1995-2002.
- Tizzano, M., Cristofolletti, M., Sbarbati, A., Finger, T.E. (2011): Expression of taste receptors in solitary chemosensory cells of rodent airways. *BioMed Central Pulmonary Medicine*, 11 (3): 1-12.
- Tizzano, M., Finger, T.E. (2013): Chemosensors in the nose: guardians of the airways. *Physiology*, 28 (1): 51-60.
- Tizzano, M., Merigo, F., Sbarbati, A. (2006): Evidence of solitary chemosensory cells in a large mammal: the diffuse chemosensory system in *Bos taurus* airways. *Journal of Anatomy*, 209 (3): 333-337.
- Trigo, F. J. (1987): El complejo respiratorio infeccioso de los bovinos y ovinos. *Ciencia Veterinaria* 4. Departamento de Patología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vilar-Puig, P., Cortés-Cisneros, A., Chavolla-Magaña, R., Molina-Ramírez, L. (2016): Historia de la traqueostomía. *Anales de Otorrinolaringología Mexicana*, 61 (2): 163-168.

## Bibliografía

---

-Wailoo, M. P., Emery, J.L. (1982): Normal growth and development of the trachea, *Thorax*, 37 (8): 584–587.

-Wallace, L. R., (1948): The growth of lambs before and after birth in relation to the level of nutrition. *Journal of Agricultural Science*, 38 (3): 367-398.

-Wansleeben, C., Bowie, E., Hotten, D. F., Yu, Y. R., Hogan, B. L. (2014): Age-related changes in the cellular composition and epithelial organization of the mouse trachea. *PLOS ONE*, 9 (3): 1-8.

-West, J. B. (2005): *Fisiología respiratoria*. 7<sup>a</sup> ed. Editorial Médica panamericana: 1-24.





