

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

**PERFILES DE DIÁMETRO DE FIBRA EN LANAS  
PREPARTO DE OVEJAS MERINO**

Diego Mariano Sacchero

BAHIA BLANCA, ARGENTINA

2012



## PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Laboratorio de Fibras Textiles del INTA EEA Bariloche durante el período comprendido entre el 4 de septiembre de 2007 y el 14 de octubre de 2011, bajo la dirección de Joaquín Mueller del INTA Bariloche.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../ .../ ..., mereciendo la calificación de ..... (.....)



## **DEDICATORIA**

*Este trabajo este dedicado a Fidel y Lucio quienes, cada día cuando los veo felices y hermosos, me hacen sentir el padre más afortunado y dichoso del mundo.*



## RESUMEN

Esta tesis aborda el estudio de efectos genéticos y fisiológicos sobre las variaciones en el diámetro de las fibras de lana que se producen a lo largo de su ciclo anual de crecimiento. El patrón de variabilidad resultante es un indicador de la sensibilidad individual que influye en la calidad textil, en especial en las lanas de alto valor, al quedar determinada la morfología de la fibra y su perfil. El término “perfil” fue propuesto por primera vez por Hansford *et al.*, (1985) para estudiar el crecimiento de las fibras de lana en una secuencia de mediciones repetidas de diámetros. En su carácter de visión *ex post*, los perfiles proveen una imagen retrospectiva detallada del crecimiento de la lana.

Los temas principales de esta tesis, abordados desde tres trabajos fueron: el estudio comparativo de la variabilidad de respuesta en diámetro de fibra en dos líneas genéticas Merino en el noroeste de la Patagonia argentina, el efecto del estado fisiológico sobre características univariadas del Perfil de Diámetro de Fibras y, por último, la utilización de regresiones *Splines* Penalizadas como método alternativo de análisis bajo un enfoque de mediciones repetidas para estudiar el efecto del estado fisiológico sobre la variabilidad del diámetro de fibra.

Se demostró que las líneas genéticas Merino evaluadas reaccionaron del mismo modo frente a las variaciones ambientales, tal como lo harían curvas paralelas no coincidentes. De lo cual surge que, en ambientes rigurosos con importantes fluctuaciones interanuales en las variables climáticas y de vegetación, la calidad de lanas superfinas se ve afectada como lo harían en otros tipos de lanas. Cuando se pretende comparar líneas genéticas Merino dentro de ambientes, las Tasas de Cambio del Diámetro (TCD) son los únicos descriptores univariados del Perfil de Diámetro de Fibra que aportan información adicional respecto a la proporcionada por las mediciones típicas de producción animal individual.

El estado fisiológico afectó significativamente las características del diámetro de fibra en el periodo de crecimiento correspondiente al fin de gestación y lactancia, donde las hembras preñadas fueron 0,6 micrones más finas que las secas. Tal efecto no es permanente y tiende a reducirse paulatinamente luego del pico de lactancia o el destete. En ningún caso pudo demostrarse algún efecto de la preñez temprana sobre las variables estudiadas. Esta información puede ser útil para los casos en que sea posible una estrategia de alimentación diferencial entre ovejas preñadas y secas, ajustando el consumo a la condición fisiológica, permitiendo un uso más eficiente de los recursos forrajeros e incluso una mayor producción de lana por hectárea, sin descuidar el bienestar animal de las ovejas preñadas.

Finalmente, con énfasis en el objetivo de modelar los perfiles y probar los efectos del estado fisiológico y la edad en ovejas Merino, los datos fueron evaluados bajo un enfoque no paramétrico donde se aplicaron regresiones *Spline* Penalizadas como método alternativo a los descriptores univariados, utilizados normalmente para describir las características de los perfiles de diámetro de fibra. El estudio de la variación del diámetro de fibras mediante esta técnica permitió detectar diferencias que pueden quedar desapercibidas cuando se evalúan a través de variables univariadas típicas como el diámetro medio de fibras.

## ABSTRACT

This thesis deals with the study of genetic and physiological effects on variations in the diameter of wool fibers that occur throughout the annual growth cycle. The resulting pattern of variability is an indicator of individual susceptibility that influences the textile quality, particularly in high value wool, to be given by the morphology of the fiber and its profile. The term "profile" was first proposed by Hansford *et al.*, (1985) to study the growth of wool fibers in a sequence of repeated measurements of diameters. As an *ex post* view, the profiles provide a detailed retrospective image of wool growth.

The main topics of this thesis were approached from three works: the comparative study of the variability of fiber diameter response in two strains of Merino in northwestern Patagonia (Argentina), the effect of physiological status on univariate characteristics of the Fiber Diameter Profile and finally, the use of penalized spline regressions as an alternative method of analysis with a focus on repeated measurements to study the effect of physiological state on the variability of fiber diameter.

It was shown that the evaluated genetic strains of Merino reacted the same way to the environmental conditions, behaving as no coincident parallel curves. From which emerges that in harsh environments with large inter-annual fluctuations in climate variables and vegetation, superfine wool quality is affected as other types of wool. When trying to compare strains of Merino within environments, the Rates of Diameter Change (TCD) are the only univariate descriptors of the Fiber Diameter Profile that provide additional information to the one provided by typical measurements on individual animal production.

The physiological states significantly affect the characteristics of the fiber diameter in the growth period for the end of pregnancy and lactation, where pregnant ewes were 0.6 microns thinner than dry ewes. This effect is not permanent and tends to decrease gradually after the peak of lactation or weaning. In no case it could demonstrate any effect of early pregnancy on the variables studied. This information can be useful in cases where it may be possible to provide differential feeding between pregnant and dry ewes by adjusting intake to the physiological condition, thus enabling more efficient use of forage resources and even greater wool production per hectare, without neglecting animal welfare of pregnant ewes.

Finally, with emphasis on the purpose of modeling the profiles and test the effects of physiological state and age in Merino sheep, the data was evaluated under a nonparametric

approach where Penalized Spline regressions were applied as an alternative to univariate descriptors, often used to describe the characteristics of the fiber diameter profiles. The study of the variation of fiber diameter using this technique allows detecting differences that may be missed when evaluated by typical univariate variables as the average fiber diameter.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer término quisiera dar mi más sincero agradecimiento al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, la institución que me acogió hace más de una década, donde pude trabajar, desarrollarme y perfeccionarme profesionalmente en un ámbito siempre cómodo y amigable. También me brindó los medios para realizar los trabajos involucrados en esta tesis y comprensión y paciencia en los momentos que tuve que dedicarme a mi familia.

Quisiera agradecer a Joaquín Mueller, director de esta tesis, de quien tengo la más alta estima de su persona y admiración por su trabajo. Durante este tiempo, mediante fructíferas y estimulantes discusiones, me alentó y aconsejó para llevar adelante estos estudios.

También a Priscila Willems, del comité asesor, por su paciencia infinita y compromiso para enseñarme y acompañarme en todo lo referente a los análisis estadísticos. Sus aportes, revisiones y discusiones fueron indispensables para poder concretar esta tesis.

A Valeria Paccapelo por su aporte metodológico al análisis de las mediciones repetidas.

Al personal del Laboratorio de Fibras Textiles del INTA Bariloche, Alejandro Perazzo, amigo e incansable editor de los gráficos. Y quienes me acompañan en las tareas diarias del laboratorio, Magui Álvarez, Mabel Perussi, María Silva, Antonio Sáez, Sergio Eggers y Leo Silva.

Quisiera expresar mi agradecimiento también al resto de mis compañeros de trabajo con los cuales y gracias a charlas e intercambios de ideas que me aportaron nuevos y valiosos puntos de vista.

Finalmente quisiera dar las gracias a Ana, mi mujer, quien me apoyó incondicionalmente y me alentó a no abandonar este desafío, aún en los momentos menos afortunados.



## INDICE

<b>PREFACIO</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xvii</b>
I. Estudio comparativo de líneas genéticas. ....	xix
II. Estudio comparativo de estados fisiológicos. ....	xx
III. Utilización de regresiones <i>Spline</i> para estudiar el efecto del estado fisiológico. ....	xxi
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Introducción general</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivo general y específicos</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 Hipótesis</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Introducción</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 Materiales y Métodos</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 <i>Ubicación y clima</i> .....	<i>10</i>
2.2.2 <i>Animales experimentales</i> .....	<i>11</i>
2.2.3 <i>Muestreo y mediciones</i> .....	<i>12</i>
2.2.4 <i>Análisis de datos</i> .....	<i>14</i>
<b>2.3 Resultados y Discusión</b> .....	<b>15</b>
2.3.1 <i>Variables asociadas a diámetros de fibra</i> .....	<i>19</i>
2.3.2 <i>Coefficientes de variación del diámetro medio y de diámetros a lo largo de la mecha</i> .....	<i>21</i>
2.3.3 <i>Tasas de cambio de diámetro</i> .....	<i>22</i>
<b>2.4 Conclusiones</b> .....	<b>24</b>

<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Materiales y Métodos.....</b>	<b>28</b>
3.2.1 <i>Ubicación y clima</i> .....	28
3.2.2 <i>Animales experimentales</i> .....	29
3.2.3 <i>Muestreo y mediciones</i> .....	30
3.2.4 <i>Análisis de datos</i> .....	31
<b>3.3 Resultados y discusión .....</b>	<b>32</b>
3.3.1 <i>Variables relativas a diámetros</i> .....	34
3.3.2 <i>Coefficientes de variación del diámetro medio y de diámetros a lo largo de la mecha</i> .....	37
3.3.3 <i>Tasas de Cambio de Diámetro</i> .....	37
<b>3.4 Conclusiones .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Materiales y métodos .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 <i>Ubicación y clima</i> .....	43
4.2.2 <i>Animales experimentales y manejo</i> .....	43
4.2.3 <i>Muestreo y mediciones</i> .....	44
4.2.4 <i>Análisis estadístico</i> .....	45
<b>4.3 Resultados .....</b>	<b>47</b>
4.3.1 <i>Análisis descriptivo de los perfiles de diámetro de fibra</i> .....	47
4.3.2 <i>Ajuste de curvas estimadas y curvas promedio</i> .....	50
4.3.3 <i>Pruebas de hipótesis sobre los efectos estudiados</i> .....	51
4.3.3.1 <i>Efecto de la Edad</i> .....	52
4.3.3.2 <i>Efecto del Estado Fisiológico</i> .....	53
<b>4.4 Conclusiones .....</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Discusión de primera hipótesis .....</b>	<b>57</b>
5.1.1 <i>Grupos genéticos</i> .....	57
5.1.2 <i>Edades</i> .....	59
5.1.3 <i>Estados fisiológicos</i> .....	60
<b>5. 2 Discusión de segunda hipótesis .....</b>	<b>62</b>

<b>5.3 Conclusiones generales .....</b>	<b>63</b>
<b>5.4 Recomendaciones finales .....</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>79</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Representación esquemática de producción anual de forraje en cantidad y calidad y las correspondientes variaciones en el diámetro de fibra que determinan los perfiles característicos para lanas esquiladas preparto y posparto

**Figura 2.** Precipitaciones acumuladas durante los dos periodos de ensayo junto a datos históricos en Pilcaniyeu, Río Negro, Argentina

**Figura 3.** Representación gráfica del diámetro máximo (MAX) y el diámetro mínimo hacia la punta de la mecha (Min1) y hacia la base de la mecha (Min2). La pendiente entre Min1 y MAX ilustra la tasa de cambio del diámetro inicial (TCD1) y la pendiente entre MAX y Min2 ilustra la tasa de cambio del diámetro final (TCD2).

**Figura 4.** Promedios de perfiles de diámetro de fibra de dos líneas genéticas (Superfina y Control) en dos períodos (Húmedo y Seco) y tres edades (Joven, Adulta y Vieja) de ovejas Merino esquiladas preparto en la Patagonia

**Figura 5.** Representación esquemática de los perfiles promedio de diámetro de fibra, estados fisiológicos y esquila en dos periodos de crecimiento.

**Figura 6.** Perfiles promedio de Diámetro de Fibra para ovejas de distintas edades (Adultas y Viejas) en dos períodos de crecimiento (Húmedo y Seco, izquierda y derecha, respectivamente).

**Figura 7.** Perfiles promedio de Diámetro de Fibra, expresados como crecimiento relativo (porcentaje del largo total), de ovejas gestantes-lactantes (DTT) y secas (NOD) en dos períodos de crecimiento (Húmedo y Seco).

**Figura 8.** Perfiles de diámetro de fibra individuales considerando distancias reales a la punta de la mecha según edad y estado fisiológico.

**Figura 9.** Ejemplo de perfiles de diámetro de fibra individuales con distancias relativas a la punta de la mecha considerando diámetros originales y datos interpolados - Ovejas Adultas DTTPRE.

**Figura 10.** Perfiles de diámetro de fibra promedio con datos interpolados de los distintos estados fisiológicos para hembras adultas y viejas.

**Figura 11.** Perfiles promedios observados y estimados a través de regresiones *P-Spline*, para cada uno de los ocho grupos que surgen de combinar los niveles del factor edad y estado fisiológico.

**Figura 12.** Perfiles promedios de diámetro de fibras según los niveles del factor edad.

**Figura 13.** Perfiles promedios de Diámetro de Fibras según los niveles del factor estado fisiológico: grupos NOD - DTT y grupos PRE - SEC.

**Figura 14.** Gráfico de covariancias para datos interpolados de Perfiles de Diámetro de Fibra.

**Figura 15.** Resumen del análisis de residuales de los Perfiles de Diámetro de Fibra.



## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Listado de abreviaturas, definiciones y unidades de los descriptores univariados generados a partir de los perfiles de diámetro de fibra.

**Tabla 2.** Significancia estadística de los efectos evaluados en las variables de los Perfiles de Diámetro de Fibra.

**Tabla 3.** Valores promedios, error estándar y número de observaciones para hembras de dos líneas genéticas (Superfina y Control) por edades (Joven, Adulta y Vieja) en dos periodos de crecimiento (Húmedo y Seco).

**Tabla 4.** Efecto de la interacción línea genética\*edad sobre medias mínimas cuadradas de diámetro medio, máximo y mínimo final.

**Tabla 5.** Efecto de la interacción línea genética\*edad sobre medias mínimas cuadradas de los coeficientes de variación.

**Tabla 6.** Efecto de la interacción línea genética\*periodo sobre medias mínimas cuadradas de la tasa de cambio de diámetro final (TCD2).

**Tabla 7.** Significancia de los efectos fijos e interacciones sobre las variables del Perfil de Diámetro de Fibra.

**Tabla 8.** Valores promedios, error estándar y número de observaciones por estados fisiológicos.

**Tabla 9.** Valores promedios, error estándar y número de observaciones por edades en dos periodos de crecimiento.

**Tabla 10.** Cantidades mínimas y máximas de mediciones de diámetros realizadas y número de animales, según los distintos estados fisiológicos.

**Tabla 11.** P-valores correspondientes a las pruebas de hipótesis relativas a los efectos evaluados.

**Tabla 12:** Estadísticas para la elección de la estructura de covariancia modelo P-Spline para datos de diámetros interpolados.

**Tabla 13.** Estadísticas para la elección de la estructura de covariancia del modelo de regresión *P-Spline*.



## TRABAJOS PUBLICADOS

### I. Estudio comparativo de líneas genéticas.

Autores: Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. P.

Publicado en Revista Argentina de Producción Animal 2010/ Vol. 30/ Nº 1.

Con el objetivo de evaluar la variabilidad de respuesta en diámetro de fibra de distintos tipos de Merino en el noroeste de la Patagonia argentina, se analizaron características del perfil de diámetros de fibra en 498 ovejas en pastoreo pertenecientes a dos líneas genéticas (G: Superfina y Control) en dos periodos (P: Húmedo y Seco) discriminando tres edades (E: joven, adulta y vieja). Para ello se midió el diámetro de las fibras a lo largo de la mecha con un equipo OFDA2000 y se consideraron las variables Diámetro Medio de Fibras (DMF), su coeficiente de variación (CVDMF), Diámetro de Fibras Máximo (MAX), Diámetro Mínimo Inicial (Min1), Diámetro Mínimo Final (Min2), tasas inicial y final de cambio de diámetro (TCD1 y TCD2, respectivamente) y el coeficiente de variación de diámetros a lo largo de la fibra (CVAAlong). Las variables DMF y MAX resultaron afectadas significativamente por P y la interacción genotipo\*edad (G\*E). Los diámetros fueron mayores en el periodo Húmedo ( $P < 0,01$ ) reflejando las mejores condiciones ambientales del mismo; las interacciones mostraron que los diámetros se incrementaron con la edad en la línea Superfina pero no aumentaron en la línea Control. La ausencia de diferencias debidas a línea genética en CVDMF y CVAAlong indica que los genotipos reaccionaron en el mismo sentido a las variaciones ambientales. Por otro lado, ambos coeficientes de variación resultaron afectados por la interacción E\*P. La categoría Joven resultó más sensible a las condiciones del periodo Seco resultando en mayores CVDMF y CVAAlong. La TCD1 resultó afectada por G y por P siendo mayores en la línea Control y en el periodo Húmedo; mientras que para TCD2 fue significativa la interacción G\*P con una tasa similar entre ambas líneas genéticas en el periodo Húmedo y una tasa de disminución significativamente mayor en la línea Control que en la Superfina, en el periodo Seco. Las mejores condiciones del periodo Húmedo se tradujeron en mayores valores de diámetros de fibra y tasas de cambio de diámetro. Las diferencias en diámetros, coeficientes de variación y tasas de cambio del diámetro estuvieron relacionadas con el diámetro medio de fibra de cada línea genética. Condiciones ambientales más adversas produjeron una respuesta más variable del diámetro de fibra en las hembras de segunda esquila.

## II. Estudio comparativo de estados fisiológicos.

Autores: Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. P.

Publicado en Revista Argentina de Producción Animal 2011/ Vol. 31/ N° 1.

Se estudió el perfil del diámetro de fibras de lana de ovejas Merino superfina (n=438) en cuatro estados fisiológicos, según estén preñadas o secas (PRE, SEC, respectivamente) y hayan destetado o no un cordero en el servicio previo (DTT, NOD, respectivamente), de dos edades (Adultas y Viejas); en pastoreo en el noroeste de la Patagonia argentina, durante dos periodos consecutivos (Húmedo y Seco). El estado fisiológico afectó significativamente las características del diámetro y de la tasa de cambio del diámetro en momentos puntuales del crecimiento, las hembras DTT tuvieron valores promedios significativamente menores ( $P < 0,001$ ) de Diámetro de Fibras Máximo (MAX, diferencia promedio 0,6  $\mu\text{m}$ ), Diámetro Mínimo Inicial (Min1, diferencia promedio 0,6  $\mu\text{m}$ ) y Tasa inicial de Cambio de Diámetro (TCD1, 16% menor en promedio) que las hembras NOD. Sin embargo, la condición PRE y SEC no afectó a ninguna de las variables. El efecto del estado fisiológico sobre el diámetro de las fibras, si bien significativo durante el periodo correspondiente al último tercio de gestación y lactancia, no es permanente ni definitivo (diferencias no significativas para Diámetro Medio de Fibras, DMF) y tiende a reducirse paulatinamente luego del pico de lactancia o el destete. Esta información es de utilidad para los casos en que sea posible un manejo nutricional diferencial de las ovejas a partir de la esquila, según su estado fisiológico. La edad resultó significativa para la variable Min1 siendo las Adultas 0,6  $\mu\text{m}$  más finas que las Viejas. Por otra parte la interacción edad\*periodo resultó significativa para DMF, MAX, Diámetro Mínimo Final (Min2), TCD1 y el Coeficiente de Variación de diámetros a lo largo de la mecha (CVAlong). Para todas estas variables, excepto para CVAlong, la apertura de la interacción mostró el mismo patrón; en el periodo Húmedo las ovejas Viejas tuvieron valores significativamente mayores que las Adultas, mientras que en el periodo Seco las diferencias entre edades se tornan no significativas. Para CVAlong en cambio la interacción mostró que las hembras Viejas fueron significativamente más variables en el periodo Húmedo y las Adultas en el periodo Seco. La separación y venta de lanas producidas por ovejas adultas y viejas en años con precipitaciones por encima de la media podría redundar en un mayor valor del lote de lana en su conjunto.

### III. Utilización de regresiones *Spline* para estudiar el efecto del estado fisiológico.

Autores: Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. P.

Publicado en Revista Argentina de Producción Animal 2012/ Vol. 32/ N° 1.

Se estudió el perfil del diámetro de fibras (PDF) de lana de ovejas Merino superfinas (n=200) en pastoreo en el noroeste de la Patagonia argentina. Las ovejas fueron clasificadas en dos edades (E; Adultas y Viejas) y en cuatro estados fisiológicos (EF), que surgen de combinar los estados fisiológicos en dos momentos, al destete, de acuerdo a si destetaron (DTT) o no destetaron corderos (NOD) y a la esquila, de acuerdo a si estaban preñadas (PRE) o secas (SEC). Los datos se analizaron como mediciones repetidas bajo un enfoque no paramétrico aplicando metodología *Spline* Penalizada (*P-Spline*). Tanto el efecto de la E como del EF resultaron significativos, mientras que la interacción entre ambos factores resultó no significativa ( $p < 0,3986$ ). La forma de los PDF fueron afectados significativamente por la edad de las hembras, resultando en falta de paralelismo entre los perfiles de hembras Adultas y Viejas ( $p < 0,0023$ ). Este hecho estaría indicando que hembras de distintas edades no respondieron de igual modo a las distintas condiciones ambientales que ocurren a lo largo del año. Las curvas correspondientes a los distintos niveles del factor EF tampoco fueron todas paralelas entre sí ( $p < 0,0132$ ), por lo cual la forma del PDF es diferente de acuerdo al estado fisiológico de la hembra. El contraste para el efecto del EF al destete resultó significativo ( $p < 0,0012$ ), es decir, las curvas NOD y DTT no fueron paralelas. Por otro lado, el contraste para el efecto del EF a la esquila resultó en que las curvas PRE y SEC fueron paralelas ( $p < 0,7128$ ) y coincidentes ( $p < 0,4911$ ). En resumen, los mayores requerimientos nutricionales asociados al último tercio de gestación y lactancia condicionaron el crecimiento en diámetro de las fibras. Sin embargo, la gestación temprana no produjo ninguna diferencia en la respuesta del diámetro de fibra respecto a hembras no gestantes. El estudio de la variación del diámetro de fibras a través del año, mediante regresiones *P-Spline*, permitió detectar diferencias que pueden pasar desapercibidas cuando se evalúan a través de descriptores univariados como el Diámetro Medio de Fibras.



# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN GENERAL, OBJETIVOS E HIPOTESIS

### 1.1 Introducción general

La lana es una fibra textil cuyo principal determinante de calidad y precio es el diámetro medio de la fibra. Diversos factores no genéticos como la nutrición, el estado fisiológico, la edad y el estado sanitario, y factores genéticos como la raza y la línea genética influyen sobre el diámetro de la fibra de lana.

La raza Merino produce lanas en un rango de diámetros de 15 a 23 micrones, sin embargo la tendencia actual es aumentar la producción de lanas finas (21 a 18,6 micrones) y superfinas (< a 18,5 micrones) para satisfacer la demanda de los consumidores. Así, los países laneros han aumentado la proporción de lanas finas y superfinas mediante la aplicación de programas de mejora genética. Este cambio, sin embargo, ha generado desafíos importantes para su producción, comercialización y procesamiento. En Argentina, la producción de lanas superfinas, sin problemas de resistencia a la tracción ni longitud de mecha, permitiría aumentar los ingresos o, alternativamente, mantener los ingresos con un menor stock ovino (Mueller *et al.*, 2001). Esto último implicaría un valioso aporte a la problemática del sobrepastoreo y desertificación, producto de la sobredotación de los campos y el pastoreo continuo, que afecta al 30% de la superficie patagónica.

Muchos criadores patagónicos de la raza Merino incentivados por los precios, tratan de producir lanas más finas, sin embargo necesitan tener señales claras sobre las propiedades de la lana que fuesen críticas para el comportamiento durante el proceso textil y así criar animales que produzcan lana de acuerdo a las demandas del mercado. Los resultados obtenidos en Patagonia comparando genotipos de Merino Fino y Superfino (Mueller *et al.*, 2005a y 2005b) han demostrado la ausencia de interacción genotipo ambiente, indicando que ambos genotipos son afectados por el ambiente en igual medida. Por lo tanto es posible producir lanas superfinas sin pérdida de calidad pero mostraron la necesidad de adecuar la fecha de esquila, y en algunos casos el manejo nutricional, si se quiere capturar los precios por finura. En este sentido interesa particularmente la reducción del diámetro por desnutrición (“*finura de hambre*”) que se desencadena por la escasez de alimento a mediados o fines de invierno en distintos ambientes de esa región y que tiene como consecuencia la disminución, o cese, de la actividad folicular con reducción del diámetro, del crecimiento en longitud, y en

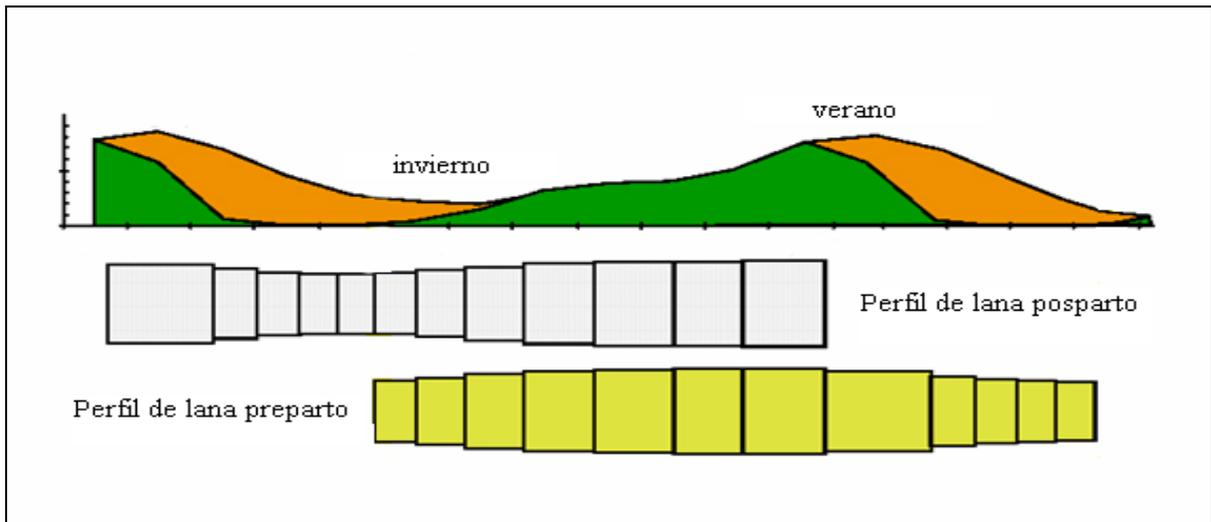
consecuencia, de la resistencia a la tracción. Estas variables adquieren mayor importancia económica en las lanas finas y superfinas ya que los descuentos en el precio por pérdida de calidad son mayores a los que se le aplican a lanas medias y gruesas.

El ambiente es un factor limitante de la producción de lana al influir sobre el peso de vellón y determinar gran parte de sus características de calidad como diámetro medio de fibras, largo de mecha, resistencia a la tracción, etc. Los ambientes marginales como los de Patagonia son aptos para la producción de lanas finas y superfinas, sin embargo, estas se ven afectadas por el ambiente. El efecto ambiental, sin embargo, es extensivo también a otros tipos de lanas. En trabajos llevados a cabo en Patagonia se encontró que el efecto de años climáticamente adversos sobre la calidad de la lana puede ser más que proporcional al efecto sobre la producción (Mueller *et al.*, 2001).

Las fluctuaciones anuales en cantidad y calidad de forraje disponible para el pastoreo de ovinos producen variaciones en el diámetro medio de fibras (y en la tasa de crecimiento de lana). En ambientes marcadamente estacionales, como los mediterráneos, dichas variaciones son sustanciales.

La Figura 1 muestra esquemáticamente la forma en la cual las variaciones en la producción de forraje determinan el crecimiento y la forma final de las fibras para las dos fechas tradicionales de esquila que se observan en Patagonia (preparto y posparto), resultan en perfiles de diámetro de fibra de distintas características.

El Perfil de Diámetro de Fibras (PDF) es un conjunto de mediciones repetidas de diámetros, medidos secuencialmente a lo largo de la mecha, que permite examinar la manera en la cual los diámetros de fibras varían a través del periodo anual de crecimiento en respuesta a cambios en el aporte y demanda de nutrientes, produciendo un patrón de variabilidad del diámetro a lo largo de las fibras de lana que influye en su calidad textil (Hansford, 1985; Brown y col., 2000a y 2002) al quedar determinada la morfología de la fibra. El PDF es un indicador de la respuesta o la sensibilidad individual ante cambios ambientales (Hansford *et al.*, 1985; Brown *et al.*, 1999 y 2002b). En contraste con el importante efecto de la nutrición sobre los cambios del diámetro de fibra a lo largo de la mecha, hay poco, o ningún, efecto de la nutrición en la variación del diámetro entre fibras, las cuales están determinados en gran medida por el genotipo. En este sentido, ovinos de mayor diámetro medio de fibras responden con mayores variaciones de diámetro que ovinos de menor diámetro, más allá de que tales variaciones se midan en valores absolutos o relativos.



**Figura 1:** Representación esquemática de producción anual de forraje en cantidad y calidad (forraje verde y forraje seco) y las correspondientes variaciones en el diámetro de fibra que determinan los perfiles característicos para lanas esquiladas preparto y posparto.

El comportamiento textil de fibras en forma de huso como el de las lanas preparto ha ganado importancia luego de los hallazgos de Hansford (1997) de mayor longitud media de fibras (*Hauteur*) y menor coeficiente de variación de *Hauteur* en lanas peinadas, que se obtienen como resultado de su procesamiento. Aportes adicionales a favor de lanas de perfil ahusado fueron hechos en base a los descubrimientos respecto al diámetro de extremos de fibras en tops y su relación con el confort de las prendas sobre la piel (Hansford, 1994; Naylor y Stanton, 1997; Naylor y Hansford, 1999). La ubicación del diámetro de fibra mínimo en la mecha, ha sido fuertemente asociada a la resistencia a la tracción de lana (Hansford y Kennedy, 1998; Peterson *et al.*, 1998; Thompson y Hynd, 1998), por lo tanto es de interés la intervención mediante prácticas de manejo que permitan modificar la forma de los perfiles para mejorar esta característica. La resistencia a la tracción es la tercera característica más importante para la fijación de precio de las lanas luego del diámetro medio de fibra y la longitud de mecha, pero es la principal determinante de las variaciones en precio recibidos por las lanas de menos de 19,5 micrones (Stott, 2004). Existen también investigaciones que confirman las relaciones entre la forma de los perfiles con la distribución de longitudes de fibras en lanas peinadas (Hansford, 1994 y 1997a) y con la predicción de la longitud media de fibras en el proceso de peinado (Hansford, 1997b; Oldham *et al.*, 1998).

El crecimiento de la lana está influenciado factores fisiológicos que varían a lo largo del año. Si bien el principal factor que controla el crecimiento de la lana es la disponibilidad de nutrientes a nivel folicular (Reis, 1991), el aporte de tales nutrientes está influenciado por los

cambios en la repartición de nutrientes en funciones de mantenimiento, producción y reproducción (Doyle y Thompson, 1994).

Varios autores (Oddy, 1985; Montgomery y Hawker, 1987; Williams y Butt, 1989; Robertson *et al.*, 2000) encontraron que el efecto del estado fisiológico sobre algunas variables de crecimiento de la lana como peso de vellón o diámetro de fibras, es diferente en distintas razas ovinas, hasta la fecha no hay estudios específicos en Patagonia del efecto del estado fisiológico sobre la variación del diámetro. Por otra parte no existe información sobre la utilización de perfiles para evaluar el efecto del estado fisiológico sobre la variación del diámetro en la raza Merino. De acuerdo a nuestra experiencia se observa que en la zona de Sierras y Mesetas del norte de la Patagonia, las ovejas Merino llegan al parto en estados deficientes de peso y condición corporal debido a la concordancia de la reducción en la disponibilidad de forraje y los requerimientos nutricionales en alza.

Estrategias de manejo nutricional que amortiguan el efecto de los cambios de alimentación como la suplementación alimentaria durante períodos de déficit estacionales de forraje (con disminución del diámetro de fibras) y pastoreo controlado durante los períodos de elevada oferta forrajera (con marcado aumento en el diámetro de fibras), permitirían reducir en ambos casos la variación en el diámetro medio de las fibras a lo largo de la mecha mejorando indirectamente la resistencia a la tracción de las fibras (Thompson y Hynd, 1998). En Patagonia uno de las principales limitantes de la producción lanera es el bajo porcentaje de destete. Las causas de muerte perinatal de corderos en la región son las bajas temperaturas, vientos, lluvia, nieve y la inanición (Olaechea *et al.*, 1983). Resultados de Villar *et al.* (2010) demostraron que la suplementación previa al parto aumenta el peso al nacimiento de los corderos, fortalece el vínculo madre-cría y mejora la calidad del calostro. La información detallada que brindan los perfiles podría utilizarse para realizar ajustes en el manejo nutricional durante el parto y lactancia.

El análisis de la información disponible indica que el efecto de mejorar la alimentación de las hembras en la preñez tardía es potencialmente importante no solo en el corto plazo sino también en el mediano y largo plazo, ya que la evidencia experimental sugiere fuertemente que hembras mejor alimentadas podrían producir descendencia que produce más lana y más fina a través de su vida (Kelly *et al.*, 1996; Thompson y Young, 2002).

Si bien el término Perfil de Diámetro de Fibras es utilizado en las últimas décadas para describir el crecimiento de la lana (Hansford *et al.*, 1985) los estudios de variación estacional del diámetro de fibra de lana se realizan desde hace sesenta años. Durante ese tiempo las

técnicas de medición han cambiado radicalmente, desde la espectrometría, la microproyección o la porosidad (Airflow), cuando los estudios se basaban en medir el diámetro en unos pocos puntos (diámetros) en el año, típicamente en primavera, verano, otoño e invierno, hasta la llegada de la tecnología láser (*Sirolan Laserscan*®) que permitió que los perfiles se conformaran en base a tantos puntos como cortes transversales pudieran hacerse de forma consecutiva a lo largo de una mecha (Hansford *et al.*, 1985). Por último, los equipos OFDA 2000®, con tecnología de análisis de imágenes, permitieron una nueva innovación, medir diámetros a lo largo de la mecha entera sin necesidad de corte, equidistantes a valores preestablecidos desde un milímetro (Brown *et al.*, 2000; Brown y Schlink, 2002). Estas últimas técnicas implicaron un aumento sustantivo en la cantidad de información disponible para cada animal. Pero llevan implícitas características propias que complejiza el proceso de análisis, particularmente las originadas en la falta de sincronización temporal de los datos.

Las investigaciones hechas hasta el presente se basan en la utilización de descriptores univariados que caracterizan a toda la secuencia de mediciones realizadas a lo largo de la mecha tal como el diámetro máximo, el diámetro mínimo, el diámetro medio, la tasa de cambio del diámetro, etc. En Australia muchos investigadores utilizaron estos descriptores univariados del perfil de diámetro de fibra para examinar diferencias genéticas en la raza Merino (Hansford y Kennedy, 1998; Adams *et al.*, 1996; Adams y Briegel, 1998; Brown *et al.*, 1999 y 2002b, Brown y Crook, 2005, entre otros).

La forma en que puede analizarse la información generada por los perfiles merece discutirse ya que en la actualidad hay disponibles metodologías estadísticas (Rupert *et al.*, 2003; Wu, 2006) y computacionales para analizar mediciones repetidas de manera efectiva y eficiente. Este hecho motivo que se realizara en esta tesis una propuesta alternativa de análisis, a los descriptores univariados utilizados normalmente para describir las características de los perfiles de diámetro de fibra, bajo un enfoque de mediciones repetidas. De esta manera se tiene una mirada integral de la variación del diámetro de fibra de todo el periodo de crecimiento considerado. Dado que la evolución del diámetro de fibra a través del tiempo es compleja para ser modelada paramétricamente, se propone la aplicación de modelos de regresión semi-paramétricos como las regresiones *Spline* penalizadas (Rupert *et al.*, 2003). A partir de ellas se obtienen curvas “suaves”, con oscilaciones menos pronunciadas, que representan adecuadamente el movimiento intrínseco de los datos originales. La regresión *P-Spline* se trabaja dentro del contexto de los modelos lineales mixtos, lo cual permite gozar de los beneficios del suavizado junto a las características inferenciales de los modelos lineales. Los análisis pueden llevarse a cabo utilizando un programa que tenga algún modulo para

análisis de modelos mixtos, construyendo a priori las matrices de las componentes aleatorias del modelo y definiendo adecuadamente la estructura de covarianzas.

A pesar que la adopción de tecnologías de medición como la del OFDA2000 esta en aumento, la información sobre la utilidad potencial de los PDF para mejorar la calidad de lanas finas y superfina es limitada. El presente trabajo de tiene como finalidad contribuir al conocimiento de la producción, manejo y mejoramiento de la calidad textil de lanas Merino fina y superfina, para lo cual se estudiaron las variaciones de diámetro que se producen a lo largo de las fibras debidas al genotipo y al estado fisiológico. Así mismo se estudió y propuso el uso de una metodología alternativa de análisis de la información de los perfiles de diámetro de fibras.

El propósito de estos trabajos es generar información que permita discutir el rol de los perfiles de diámetro de fibra respecto a su uso potencial como criterio de selección en mejoramiento genético, como herramienta para investigación de la interacción genotipo ambiente y como herramienta en la toma de decisiones para el manejo de majadas laneras que influyen en su calidad textil. Sin embargo también se reconoce que dicha información tendría importancia en otras instancias de la transformación de la lana y en el desarrollo de productos diferenciados.

Los hallazgos recientes sobre la relación entre los perfiles de diámetro de fibra y las imágenes satelitales de disponibilidad de forraje provista por los NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) son muy alentadores (Whelan *et al.* 2008 y 2009). Dicha relación podría ser usada para predecir el impacto del cambio climático en la producción de lana y como una herramienta de pronóstico, o alerta temprana, confiable y precisa de la producción lanera de una región particular.

## **1.2 Objetivo general y específicos**

El objetivo general de esta tesis es estudiar las características de los Perfiles de Diámetro de Fibra de lana en ovejas Merino.

Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Comparar y describir los componentes y formas de los Perfiles de Diámetro de Fibras en ovejas Merino de diferentes grupos genéticos, edades y estados fisiológicos.
2. Proponer una metodología alternativa de análisis de los Perfiles de Diámetro de Fibra, bajo un enfoque de mediciones repetidas, mediante la utilización de regresiones *P-Spline*.

### **1.3 Hipótesis**

Las hipótesis que fueron examinadas en esta tesis fueron las siguientes

1. Las características y formas de los perfiles de diámetro de fibra permiten detectar diferencias entre ovinos Merino de distintas líneas genéticas, edades y estado fisiológicos.
2. Las regresiones *P-spline* constituyen un método de análisis alternativo a los descriptores univariados, para estudiar de manera integral la variación del diámetro de fibra de lana a lo largo del periodo de crecimiento.



## CAPITULO 2

### ESTUDIO COMPARATIVO DE LÍNEAS GENÉTICAS

#### 2.1 Introducción

En las condiciones en que los ovinos pastorean campos naturales, las fluctuaciones anuales y estacionales en cantidad y calidad de forraje disponible producen variaciones en el diámetro de las fibras que componen el vellón. Aparte de la alimentación, otros factores no genéticos como el estado fisiológico, la edad, el momento de esquila y el estado sanitario, determinan el crecimiento de la lana, el diámetro medio de fibras y la resistencia a la tracción de las mechas (Hansford y Kennedy, 1998; Peterson *et al.*, 1998; Friends y Robards, 2005).

Aunque estos factores afectan a las lanas en general (Hatcher *et al.*, 1999), es en las lanas más finas donde adquieren mayor importancia económica, ya que las lanas finas tienen mayor valor y mayores exigencias de calidad en términos de homogeneidad de diámetros, longitud de mecha y resistencia a la tracción. Mueller *et al.* (2005a) han demostrado que es posible producir lanas muy finas y de calidad tomando algunas precauciones, como por ejemplo esquilando en el momento de mayor estrés. Sacchero y Mueller (2007) observaron que, en esas lanas de esquila preparto, las fibras adquieren forma de huso, cuyos puntos de diámetro mínimo cercanos a los extremos de la mecha, concuerdan con el momento de menor oferta forrajera y requerimientos nutricionales en aumento, y que el punto de diámetro máximo coincide con el momento de mayor oferta forrajera y requerimientos nutricionales en disminución.

El efecto que las variaciones anuales y estacionales puedan tener sobre el crecimiento en diámetro de las fibras de lana (Jackson y Downes, 1979; Adams y Briegel, 1998; Brown *et al.*, 1999 y 2002b) no ha sido estudiado en las condiciones de la región de Sierras y Mesetas de la Patagonia. Aunque en sistemas de producción extensivos el productor suele tener poco control sobre los factores medioambientales que afectan la calidad de lanas, está interesado de todas maneras en saber si las líneas genéticas productoras de lana más fina responden a los mencionados factores ambientales en forma diferente a las líneas habitualmente criadas en la región. Diferencias entre líneas genéticas fueron encontradas en otros ambientes (Brown *et al.*, 2002b).

En este trabajo se analizan en detalle los efectos de la edad y de años climáticamente distintos, sobre la variación del diámetro de fibra a lo largo de su período de crecimiento, en

dos líneas genéticas que representan el Merino criado tradicionalmente en la Patagonia y el Merino que produce lana superfina.

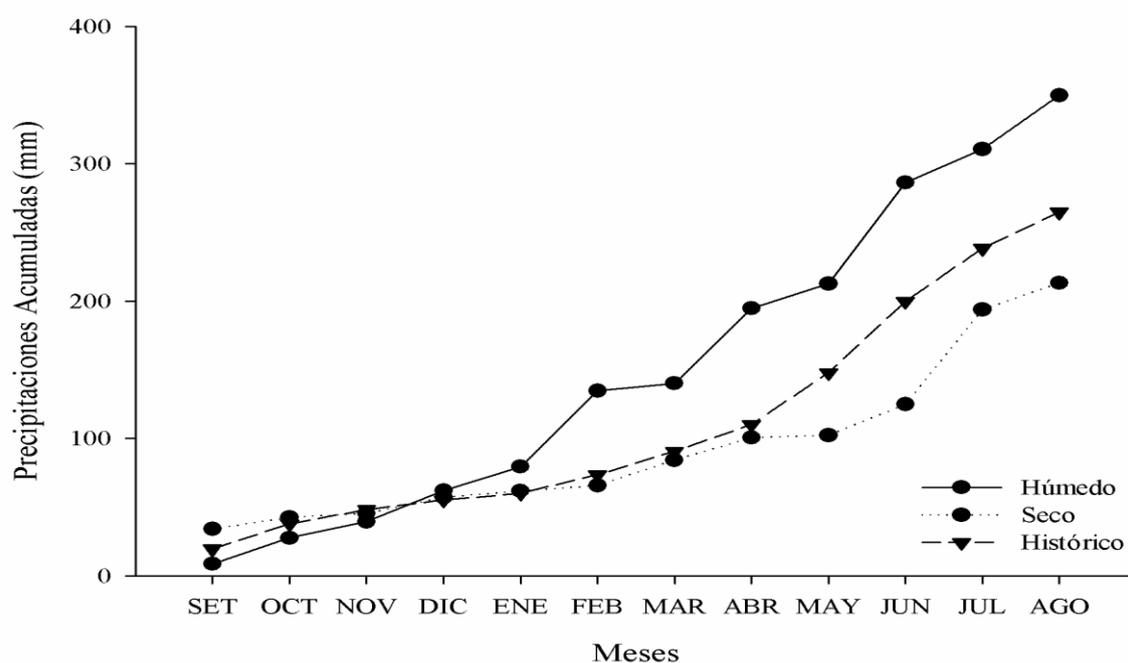
## 2.2 Materiales y Métodos

### 2.2.1 Ubicación y clima

El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental del INTA Bariloche (41° 07' S, 70° 44' W), ubicado en la localidad de Pilcaniyeu en el NO de la provincia de Río Negro. El campo tiene una altitud variable de 760-1150 msnm, sin período libre de heladas, una precipitación media anual histórica de 260 mm y se considera representativo de la región fitogeográfica de Sierras y Mesetas patagónicas. La temperatura promedio de julio, el mes más frío es de 0,9°C, mientras que la media de febrero, el más cálido es de 14,2°C. Las temperaturas extremas llegan a alcanzar los -28,0°C y 36,0°C. La distribución de las precipitaciones define un clima de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal donde el 70% de la precipitación anual se registra durante el semestre abril-septiembre.

El ensayo cubrió dos periodos productivos, de septiembre 2005 a agosto 2006 (Húmedo) y de septiembre 2006 a agosto 2007 (Seco). Las precipitaciones registradas en el campo durante esos dos periodos se presentan en la Figura 2. Se observa que, a partir de febrero, las precipitaciones acumuladas en el primer periodo son mayores a las acumuladas en el segundo periodo. La diferencia en la precipitación anual fue del 39% (350 mm vs 213 mm).

De acuerdo al manejo del campo las ovejas pastorean desde el servicio, en el mes de mayo y hasta las pariciones, a principios de octubre, sobre pastizales de invernada con pampas de *Poa ligularis* y *Stipa speciosa* (300-500 kg de Materia seca (MS)/ha), bajos arenosos de *Mulinun spinosum*, *Poa lanuginosa* y *Stipa speciosa* var. *major* (50-150 kg de MS/ha) y mallines de *Festuca pallescens* (1000-1500 kg MS/ha). Animales criados en estos ambientes sufren fuertes restricciones durante el invierno perdiendo peso (en particular las ovejas gestantes) y condición corporal (entre 1,5 y 2,5 puntos). Desde mediados de noviembre hasta principios de enero pastorean en mallines de *Poa pratensis*, *Juncus balticus*, *Festuca pallescens*, *Carex spp* y *Eleocharis sp* (2000 a 4000 kg MS/ha) (Giraudó y Somlo, 1995). Finalmente para terminar el ciclo anual, desde principios de enero hasta el servicio pastorean veranadas compuesta por *Festuca pallescens* acompañada por *Poa ligularis*, *Poa lanuginosa* y *Mulinun spinosum* (500-700 kg de MS/ha). Estas condiciones determinan pastizales naturales de estepa y mallines que soportan una carga anual promedio de 0,33 unidades de oveja seca por hectárea.



**Figura 2.** Precipitaciones acumuladas durante los dos periodos de ensayo junto a datos históricos en Pilcaniyeu, Río Negro, Argentina.

### 2.2.2 Animales experimentales

Se utilizaron animales de majadas que representan dos líneas genéticas distintas. Un plantel proveedor de padres compuesto por alrededor de 300 ovejas Merino sujeta a mejoramiento genético desde 1984 en base a calidad visual y mediciones objetivas de peso de vellón, rinde al lavado, peso corporal y diámetro medio de fibras (Mueller, comunicación personal) denominada majada Superfina (o núcleo genético) y una majada Control compuesta por alrededor de 200 ovejas Merino del mismo origen pero que no está sujeta a selección ni introducción de padres. Es una majada control o testigo, genéticamente constante, donde los reemplazos se eligen al azar. Sus variaciones productivas se deben al efecto ambiental. Dado que las majadas son del mismo origen, es posible determinar la diferencia genética entre ambas. Las majadas se manejan en conjunto en los mismos potreros.

Las hembras de ambas líneas genéticas fueron codificadas de acuerdo a su edad como: “Joven” a las ovejas de segunda esquila; “Adulta” a las ovejas de tercera y cuarta esquila; ó “Vieja” a las ovejas de quinta y sexta esquila. Tener presente que el factor Edad tiene implícito el posible efecto de distintos años de nacimiento.

### 2.2.3 Muestreo y mediciones

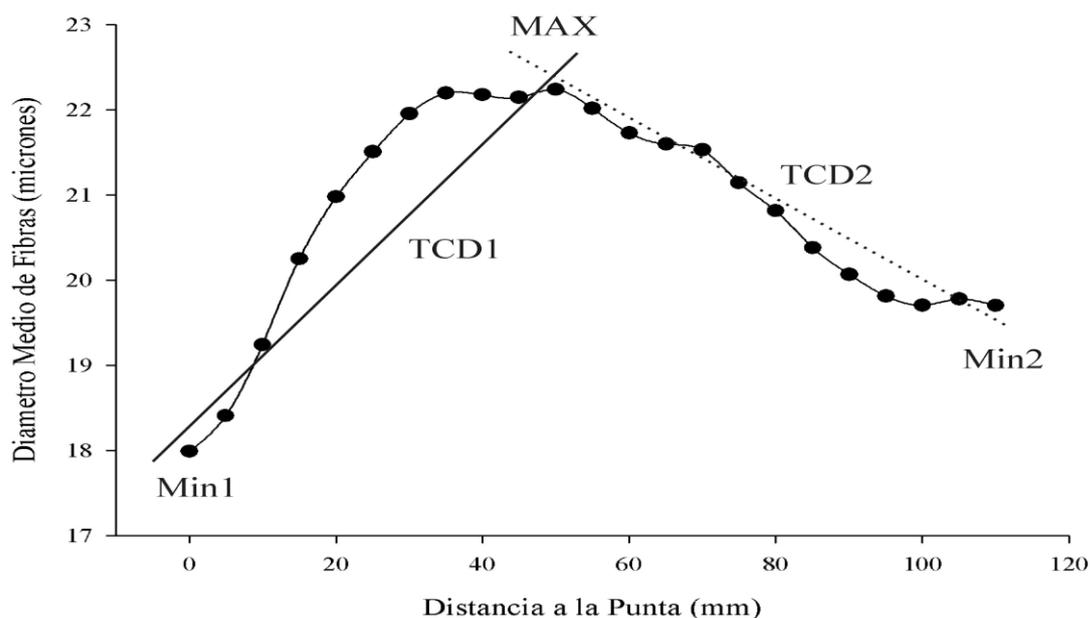
Al momento de la esquila se extrajeron, de cada animal, muestras de aproximadamente 120 g de lana de la zona del costillar. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Fibras Textiles del INTA Bariloche utilizando un equipo OFDA2000®.

Las mediciones en OFDA2000 se realizaron sobre mechas sucias corregidas por el contenido de grasa promedio de cada combinación de línea genética, edad y periodo. El equipo OFDA2000 realiza mediciones de diámetros sobre 100 a 150 fibras en secciones transversales de mechas de lana cada 5 mm hasta recorrer toda su longitud. Por lo tanto, la cantidad de valores obtenidos de diámetros medios de secciones transversales depende de la longitud. Por ejemplo, para una mecha de 80 mm de largo se obtiene un conjunto de 17 mediciones repetidas de diámetros medidos a lo largo de la mecha. Con los datos correspondientes a cada mecha, se obtiene una secuencia de mediciones que representa el período anual de crecimiento de la fibra. Dicha secuencia de mediciones se denomina Perfil de Diámetro de Fibra.

En los perfiles se identificaron tres puntos principales; diámetro máximo (MAX;  $\mu\text{m}$ ), diámetro mínimo entre el diámetro máximo y la punta de la mecha (Min1;  $\mu\text{m}$ ) y diámetro mínimo entre el diámetro máximo y la base de la mecha (Min2;  $\mu\text{m}$ ). En general, los mínimos se encuentran en, o cerca de, los respectivos extremos de la mecha. Además de estas tres variables, se calcularon las dos tasas de cambio del diámetro, la primera entre el Min1 y el MAX denominada tasa de cambio de diámetro inicial (TCD1;  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ) y la segunda entre el MAX y el Min2 denominada tasa de cambio de diámetro final (TCD2;  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ). Las tasas se calcularon ajustando la pendiente entre los respectivos diámetros máximos y mínimos (ver Figura 3). Adicionalmente, el equipo OFDA provee el valor de diámetro medio de fibra (DMF;  $\mu\text{m}$ ) y su coeficiente de variación (CVDMF; %), y el coeficiente de variación de diámetros a lo largo de la fibra (CVAlong; %). La tabla 1 contiene un listado de todas las variables mencionadas.

**Tabla 1:** Listado de abreviaturas, definiciones y unidades de los descriptores univariados generados a partir de los Perfiles de Diámetro de Fibra.

Abreviatura	Variable	Definición	Unidad
DMF	Diámetro Medio de Fibra	Promedio de todas las mediciones de fibras realizadas a lo largo de la mecha	micrones ( $\mu\text{m}$ )
MAX	Diámetro de Fibras Máximo	Valor máximo del conjunto de mediciones de diámetro que se realizaron a lo largo de la mecha	micrones ( $\mu\text{m}$ )
Min1	Diámetro Mínimo Inicial	Valor mínimo absoluto del conjunto de mediciones de diámetro entre la punta de la mecha y el diámetro máximo.	micrones ( $\mu\text{m}$ )
Min2	Diámetro Mínimo Final	Valor mínimo absoluto del conjunto de mediciones de diámetro a la derecha del MAX	micrones ( $\mu\text{m}$ )
CVDMF	Coefficiente de Variación del Diámetro Medio	Coefficiente de variación del diámetro medio	porcentaje (%)
CVAlong	Coefficiente de Variación del Diámetro a lo largo de la mecha	Coefficiente de variación de los diámetros observados a lo largo de la mecha	porcentaje (%)
TCD1	Tasa de Cambio del Diámetro Inicial	Valor igual a la diferencia entre el diámetro máximo (MAX) y el diámetro mínimo inicial (Min1) ubicado entre el diámetro máximo y la punta de la mecha dividido por el valor positivo de la distancia que separa a ambos (ver Figura 3).	micrones por milímetro ( $\mu\text{m}/\text{mm}$ )
TCD2	Tasa de Cambio del Diámetro Final	Valor igual a la diferencia entre el diámetro máximo (MAX) y el diámetro mínimo 2 (Min2) ubicado entre el valor máximo y la base de la mecha, dividido por el valor positivo de la distancia que separa a ambos (ver Figura 3).	micrones por milímetro ( $\mu\text{m}/\text{mm}$ )



**Figura 3.** Representación gráfica del diámetro máximo (MAX) y el diámetro mínimo hacia la punta de la mecha (Min1) y hacia la base de la mecha (Min2). La pendiente entre Min1 y MAX (línea sólida) ilustra la tasa de cambio de diámetro inicial (TCD1) y la pendiente entre MAX y Min2 (línea punteada) ilustra la tasa de cambio de diámetro final (TCD2).

#### 2.2.4 Análisis de datos

Los factores considerados fueron línea genética (G), edad (E) y período (P), todos de carácter fijo.

Se utilizó el siguiente modelo, incluyendo las interacciones de primer orden, correspondiente a un Diseño Completamente Aleatorizado:

$$y_{ijkl}^{(p)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

$y_{ijkl}^{(p)}$  es la  $l$ -ésima observación correspondiente a la  $i$ -ésima línea genética,  $j$ -ésima edad y  $k$ -ésimo período (donde el superíndice  $p$  varía de 1 a 8 indicando cada una de las 8 variables analizadas),

$\mu$  es la media poblacional,

$\alpha_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima línea genética ( $i = \text{Superfina y Control}$ ),

$\beta_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima edad ( $j = \text{Joven, Adulta y Vieja}$ ),

$\delta_k$  es el efecto del  $k$ -ésimo período ( $k = \text{Húmedo y Seco}$ ),

$(\alpha\beta)_{ij}$  es el efecto de la  $ij$ -ésima interacción de línea genética x edad,

$(\alpha\delta)_{ik}$  es el efecto de la  $ik$ -ésima interacción de línea genética x período,

$(\beta\delta)_{jk}$  es el efecto de la  $jk$ -ésima interacción de edad x período,

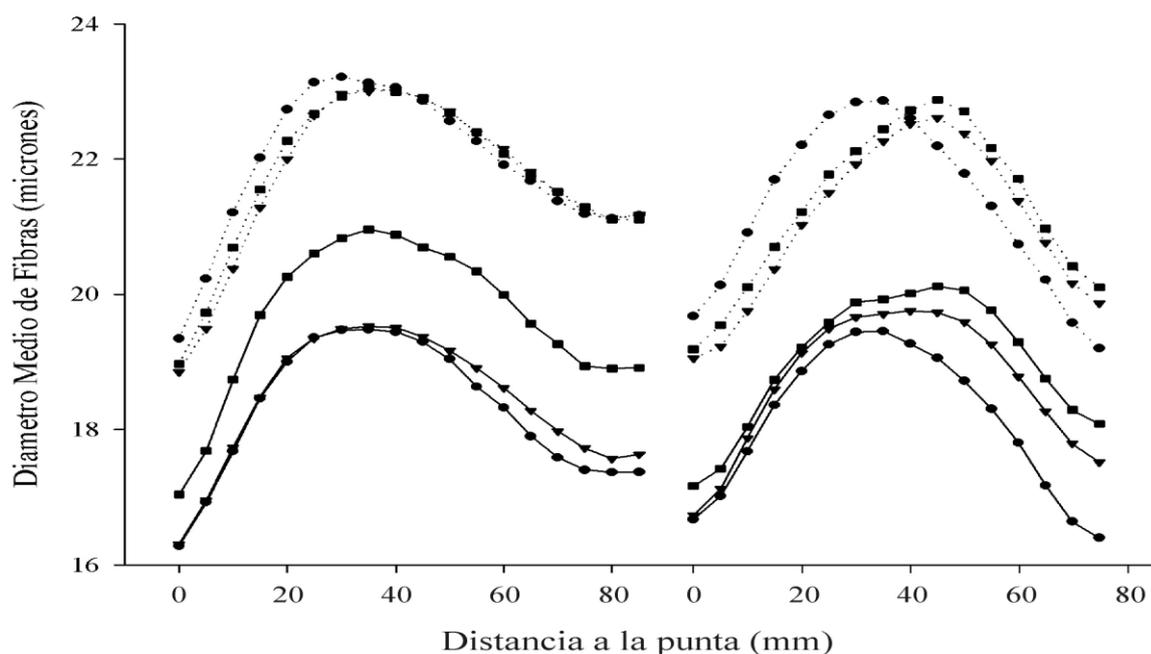
El error se asume con distribución Normal, con promedio nulo y matriz de covarianza  $R$ , tal que  $R$  es una matriz diagonal por bloques donde cada bloque es una matriz 2 x 2 que contiene la correlación de las dos mediciones correspondientes a cada animal.

Las pruebas de hipótesis se realizaron con un nivel de significación del 1%. Se empleó el paquete estadístico SAS (2009). Frente a interacción significativa, se procedió a la apertura de la misma analizando, según cada caso, dos factores de interés en forma conjunta para cada uno de los niveles de un tercer factor por el cual se decide abrir dicha interacción. Posteriormente, en situación de efectos principales significativos, se aplicó el test de comparaciones múltiples de Bonferroni. Las magnitudes de las tasas de cambios y los diámetros mínimos inicial y final se compararon en base a un test t de *Student* para comparaciones apareadas.

Se realizaron análisis de residuales que incluyeron test de Normalidad (Kolmogorov), estimación de Momentos (Asimetría y Curtosis) y test de Homogeneidad de Varianza (Levene). Para ambos períodos las variables TCD1 y TCD2 fueron transformadas a raíz cuadrada por falta de normalidad.

### **2.3 Resultados y Discusión**

El gráfico de los perfiles promedio de diámetro para ambas líneas genéticas en los dos periodos y para las tres categorías de edad se presenta en la Figura 4 y la significancia estadística de los efectos fijos estudiados se resume en la Tabla 2.



**Figura 4.** Promedios de perfiles de diámetro de fibra de dos líneas genéticas (Superfina, línea sólida y Control, línea punteada) en dos períodos (Húmedo, izquierda y Seco, derecha) y tres edades (Joven, Adulta y Vieja, marcadores redondos, triangulares y cuadrados, respectivamente) de ovejas Merino esquiladas preparto en la Patagonia

**Tabla 2:** Significancia estadística de los efectos evaluados en las variables de los Perfiles de Diámetro de Fibra.

Variable	Línea genética (G)	Edad (E)	Período (P)	G*E	G*P	E*P
DMF			*	*	ns	ns
MAX			*	*	ns	ns
Min1	*	*	ns	ns	ns	ns
Min2				*	*	ns
CVDMF	ns			ns	ns	*
CVAlong	ns			ns	ns	*
TCD1	*	ns	*	ns	ns	ns
TCD2		ns		ns	*	ns

Ver abreviaturas en Tabla 1. Símbolos: ns,  $P > 0,01$ ; \*,  $P < 0,01$ .

Las celdas vacías corresponden a efectos principales involucrados en interacciones significativas.

En la Tabla 3 se presentan los valores promedios, error estándar y número de observaciones para las combinaciones de edad por periodo para las líneas Superfina y Control.

**Tabla 3.** Valores promedios, error estándar (entre paréntesis) y numero de observaciones (itálica) para hembras de dos líneas genéticas (Superfina y Control) por edades (Joven, Adulta y Vieja) en dos periodos de crecimiento (Húmedo y Seco).

Variable	Superfinas						Control					
	Jóvenes		Adultas		Viejas		Jóvenes		Adultas		Viejas	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
<b>DMF</b>	18,3 (0,17) <i>82</i>	18,1 (0,14) <i>66</i>	18,4 (0,15) <i>115</i>	18,5 (0,11) <i>136</i>	19,4 (0,14) <i>108</i>	18,8 (0,14) <i>118</i>	21,6 (0,22) <i>49</i>	21,1 (0,23) <i>42</i>	21,4 (0,16) <i>73</i>	21,1 (0,19) <i>69</i>	21,5 (0,17) <i>71</i>	21,2 (0,21) <i>54</i>
<b>MAX</b>	20,2 (0,19) <i>82</i>	20,1 (0,16) <i>66</i>	20,4 (0,18) <i>115</i>	20,3 (0,13) <i>134</i>	21,6 (0,17) <i>108</i>	20,6 (0,17) <i>110</i>	23,8 (0,25) <i>49</i>	23,3 (0,28) <i>42</i>	23,6 (0,19) <i>73</i>	23,1 (0,22) <i>68</i>	23,7 (0,19) <i>71</i>	23,3 (0,24) <i>53</i>
<b>Min1</b>	16,5 (0,17) <i>82</i>	16,8 (0,16) <i>66</i>	16,5 (0,15) <i>115</i>	16,6 (0,12) <i>134</i>	17,0 (0,15) <i>108</i>	17,0 (0,15) <i>110</i>	19,2 (0,25) <i>49</i>	19,6 (0,28) <i>42</i>	18,7 (0,18) <i>73</i>	18,8 (0,20) <i>68</i>	18,9 (0,20) <i>71</i>	19,1 (0,18) <i>53</i>
<b>Min2</b>	17,3 (0,17) <i>82</i>	16,5 (0,17) <i>66</i>	17,5 (0,14) <i>115</i>	17,4 (0,12) <i>134</i>	18,6 (0,14) <i>108</i>	18,0 (0,15) <i>110</i>	20,7 (0,24) <i>49</i>	19,2 (0,24) <i>42</i>	20,8 (0,17) <i>73</i>	19,8 (0,22) <i>68</i>	20,8 (0,18) <i>70</i>	20,0 (0,22) <i>53</i>
<b>CVDMF</b>	18,5 (0,18) <i>82</i>	19,2 (0,23) <i>66</i>	18,7 (0,17) <i>115</i>	18,3 (0,14) <i>136</i>	18,6 (0,15) <i>108</i>	18,8 (0,17) <i>118</i>	18,5 (0,26) <i>49</i>	19,7 (0,27) <i>42</i>	18,3 (0,21) <i>73</i>	18,8 (0,20) <i>69</i>	18,7 (0,20) <i>71</i>	18,7 (0,30) <i>54</i>
<b>CVAlong</b>	6,3 (0,17) <i>82</i>	7,4 (0,19) <i>66</i>	6,5 (0,16) <i>115</i>	6,9 (0,16) <i>136</i>	7,0 (0,19) <i>108</i>	6,6 (0,17) <i>118</i>	6,4 (0,21) <i>49</i>	7,0 (0,26) <i>42</i>	6,6 (0,20) <i>73</i>	6,8 (0,24) <i>69</i>	6,5 (0,21) <i>71</i>	6,5 (0,24) <i>54</i>
<b>TCD1</b>	0,110 (0,004) <i>82</i>	0,101 (0,004) <i>66</i>	0,114 (0,005) <i>115</i>	0,106 (0,004) <i>136</i>	0,135 (0,006) <i>108</i>	0,100 (0,005) <i>115</i>	0,139 (0,008) <i>49</i>	0,125 (0,007) <i>42</i>	0,134 (0,006) <i>73</i>	0,110 (0,004) <i>69</i>	0,132 (0,006) <i>70</i>	0,112 (0,008) <i>53</i>
<b>TCD2</b>	0,068 (0,002) <i>82</i>	0,086 (0,003) <i>66</i>	0,060 (0,004) <i>115</i>	0,089 (0,003) <i>133</i>	0,071 (0,003) <i>107</i>	0,089 (0,003) <i>110</i>	0,070 (0,003) <i>49</i>	0,100 (0,005) <i>42</i>	0,072 (0,006) <i>72</i>	0,110 (0,005) <i>68</i>	0,065 (0,005) <i>71</i>	0,113 (0,006) <i>52</i>

Ver abreviaturas y unidades en Tabla 1.

Para ayudar a la presentación de los resultados, las variables analizadas se ordenaron en tres grupos de acuerdo al tipo de variable, (1) variables asociadas a diámetros, que incluyen a DMF, MAX, Min1 y Min2; (2) coeficientes de variación que incluyen a CVDMF y CVAlong y (3) tasas de cambios de diámetros que incluyen a TCD1 y TCD2.

### *2.3.1 Variables asociadas a diámetros de fibra*

Para las variables DMF y MAX el factor P resultó significativo, así como la interacción G\*E (ver Tabla 2). Los diámetros promedios de dichas variables fueron significativamente mayores en el periodo Húmedo que en el Seco (19,8 vs. 19,4  $\mu\text{m}$  para DMF,  $P<0,003$ ; 21,9 vs. 21,4  $\mu\text{m}$  para MAX,  $P<0,0005$ ) reflejando las mejores condiciones ambientales del primero. La apertura de la interacción G\*E para DMF, MAX y para Min2, también significativa (ver más abajo), mostró en general que los diámetros se incrementaron con la edad en la línea Superfina (para MAX el incremento fue significativo al pasar de edad Adulta a Vieja), mientras que en la línea Control sorpresivamente no hubo aumento significativos de diámetros con la edad (ver Tabla 4).

El Min1 resultó afectado significativamente por los efectos de la línea genética ( $P<0,0001$ ) donde la línea Superfina fue 2,3  $\mu\text{m}$  más fina que la Control (16,7 vs 19,0  $\mu\text{m}$ , respectivamente) y la edad ( $P<0,0083$ ) donde las hembras Adultas tuvieron el menor valor promedio (18,0  $\mu\text{m}$ ; 17,7  $\mu\text{m}$  y 18,0  $\mu\text{m}$ , para Jóvenes, Adultas y Viejas, respectivamente). Estas diferencias entre grupos etarios no tienen implicaciones de calidad ni comerciales.

Para Min2 resultaron significativas las interacciones G\*E ( $P<0,0035$ ) y G\*P ( $P<0,0004$ ). La apertura de la interacción G\*E mostró un comportamiento similar al de las variables DMF y MAX. Por su parte, la interacción G\*P mostró que, si bien en el segundo periodo disminuyeron los valores de diámetro, esta disminución fue mas marcada en la majada Control que en la Superfina (20,7 vs. 19,6  $\mu\text{m}$  para la majada Control y 17,9 vs. 17,4  $\mu\text{m}$  para la Superfina en los periodos Húmedo y Seco, respectivamente). Teniendo en mente que Min2 es el diámetro medio de fibras a la esquila, se encontró que tuvieron su correlato con el peso corporal a la esquila (15,2% menos para la majada Control y 11,7% menos para la Superfina en el periodo Seco, Joaquín Mueller, datos sin publicar).

**Tabla 4.** Efecto de la interacción línea genética\*edad sobre medias mínimas cuadradas de diámetro medio, máximo y mínimo final.

Edad	DMF		MAX		Min2	
	Superfina	Control	Superfina	Control	Superfina	Control
<b>Joven</b>	18,2 c	21,3 a	20,2 b	23,5 a	16,9 c	19,9 a
<b>Adulta</b>	18,6 b	21,1 a	20,5 b	23,3 a	17,5 b	20,2 a
<b>Vieja</b>	19,2 a	21,2 a	21,2 a	23,4 a	18,4 a	20,3 a

Ver abreviaturas en Tabla 1. Todas las variables se expresan en micrones.

Para cada variable letras distintas dentro de columnas indican diferencias significativas al 1%.

La diferencia promedio en DMF entre líneas genéticas (2,7  $\mu\text{m}$  menor en la Superfina) es mayor a los 1,4  $\mu\text{m}$  encontrados en las mismas majadas por Sacchero y Mueller (2007) 5 y 6 temporadas antes. La mayor separación entre ambas líneas en DMF se debería a la introducción de germoplasma superfino australiano y al mayor énfasis en selección por menor diámetro en la majada Superfina durante los últimos años. Brown *et al.* (2002b) observaron diferencias similares (3,0  $\mu\text{m}$ ) entre líneas genéticas finas y medias en ambientes de mesetas de Australia. El proceso de afinamiento de la lana en la línea Superfina también puede haberse reflejado en diferencias de finura entre edades, animales más jóvenes estarían más seleccionados, explicando las diferencias entre edades para esa línea, que no se observa en la línea Control.

Comparando los diámetros mínimos se encontró que el promedio de Min1 fue menor al de Min2 (17,6  $\mu\text{m}$  vs. 18,6  $\mu\text{m}$ , respectivamente;  $P < 0,0001$ ) es decir que el diámetro mínimo cercano a la punta de la mecha fue el menor de todo el periodo de crecimiento (excepto para hembras jóvenes en el periodo Seco, ver mas abajo). Esto se debería, al menos en parte, a la concordancia en ese momento de efectos ambientales (baja disponibilidad de forraje) y fisiológicos (altos requerimientos nutricionales en hembras gestantes) que producen reducción del diámetro de fibra.

Analizando las diferencias entre el mínimo final y el inicial (Min2-Min1) a través del modelo propuesto, se encontró que fueron significativas las interacciones G\*P ( $P < 0,0091$ ) y E\*P ( $P < 0,0071$ ). La apertura de la interacción G\*P mostró que hubo diferencias significativas entre los promedios de las líneas genéticas en el primer período (1,2  $\mu\text{m}$  en la Superfina vs 1,7  $\mu\text{m}$  en la majada Control;  $P < 0,0002$ ) mientras que en el segundo período no las hubo (0,5  $\mu\text{m}$  en ambas líneas). Por otro lado la apertura de la interacción E\*P mostró que en el periodo Seco las ovejas Jóvenes no solo tuvieron diferencias entre ambos mínimos, significativamente más bajos que el resto, sino que fue el único subgrupo donde las diferencias fueron negativas,

es decir que tuvieron el diámetro mínimo final menor al inicial. Estas diferencias produjeron perfiles con características particulares en cada periodo; en el Húmedo con condiciones ambientales favorables que maximizaron las diferencias entre las líneas genéticas y en el periodo Seco, sin diferencias debidas a la línea genética pero con las hembras de la categoría Jóvenes expresando un perfil atípico con el diámetro final menor al inicial.

Finalmente, en aquellas hembras en las cuales se contaron con mediciones consecutivas en ambos periodos (n=343), se evaluó la diferencia entre el diámetro mínimo final (Min2) del primer periodo con el diámetro mínimo inicial (Min1) del segundo. Si bien ambas mediciones corresponderían prácticamente el mismo lugar físico de la mecha, la exposición de la punta de la mecha durante un largo tiempo a las condiciones ambientales externas (radiación solar, viento, lluvia, variaciones de temperatura y humedad, etc.) pudo afectar la descamación de la cutícula de las fibras, confiriéndole un aspecto fragmentado y deshilachado (Ryder y Stephenson, 1968) reduciendo su diámetro. Las diferencias debidas a la línea genética resultaron altamente significativas ( $P < 0,0001$ ); la caída en el promedio de diámetro en la Superfina fue de  $0,7 \mu\text{m}$ , mientras que en la majada Control fue de  $1,8 \mu\text{m}$  (ver Figura 3). La lana Superfina se vio menos afectada por el ambiente que la lana de Merino tradicional, suponiendo alguna diferencia genética en la propensión de pérdida de escamas en la cutícula de la fibra.

### 2.3.2 Coeficientes de variación del diámetro medio y de diámetros a lo largo de la mecha

Las líneas genéticas tuvieron coeficientes de variación similares, tanto *entre fibras* como *a lo largo de fibras* (diferencias no significativas para el efecto G y para las interacciones G\*P y G\*E). Sin embargo, la interacción E\*P resulto significativa para ambos coeficientes de variación ( $P < 0,0023$  para CVDMF y CVAAlong, ver Tabla 5). Los valores de CVDMF que las hembras Jóvenes tuvieron en el periodo Seco fueron altos y significativamente diferentes a las Adultas y Viejas; en el periodo Húmedo no hubo diferencias entre grupos etarios (ver Tabla 5).

Para CVAAlong se observó una situación contrapuesta entre los periodos, en el Húmedo los coeficientes de variación aumentaron con la edad y en el Seco disminuyeron con la edad. En ambos periodos las ovejas Jóvenes fueron significativamente diferentes de las Viejas (ver Tabla 5). La categoría Joven resultó más sensible a las condiciones ambientales del periodo Seco, provocando una respuesta del diámetro más variable que se tradujo en mayores CVDMF y CVAAlong y por lo tanto en un perfil diferente al resto de las combinaciones de edad por periodo.

**Tabla 5:** Efecto de la interacción línea genética\*edad sobre medias mínimas cuadradas de los coeficientes de variación.

Edad	CVDMF		CVAlong	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Joven	18,4 b	19,5 a	6,3 b	7,2 b
Adulta	18,5 a	18,6 a	6,6 a	6,9 ab
Vieja	18,6 a	18,9 a	6,8 a	6,6 a

Ver abreviaturas en Tabla 1. Todas las variables se expresan en porcentaje (%).

Para cada variable letras distintas dentro de filas indican diferencias significativas al 1%.

El promedio general observado de CVAlong (6,7%) fue levemente superior a los encontrados por Brown *et al.* (2002b) y por Jackson y Downes (1979), en Australia, para majadas Merino finas (6,2 y 6,4%, respectivamente). La ausencia de diferencias significativas entre líneas genéticas encontradas aquí, en los promedios de estos coeficientes de variabilidad, concuerda con lo observado por Jackson y Downes (1979). Otros autores, sin embargo, encontraron mayores CVAlong (Peterson *et al.*, 1998) y CVDMF (Brown *et al.*, 2002b) en líneas genéticas de Merino gruesos (>23  $\mu\text{m}$ ) que en Merinos finos. Yamin *et al.* (1999), encontraron que las respuestas en el crecimiento de las fibras en diámetro ante condiciones ambientales desfavorables, tal como las de un período Seco, son más variables y sugiere que el principal componente de la variabilidad de CVAlong es de origen ambiental y donde la nutrición juega un rol preponderante, a diferencia del CVDMF, donde las diferencias son principalmente de origen genético. Evaluando la variación del diámetro a lo largo de la fibra Adams y Briegel (2002) encontraron que el Desvío Estándar a lo largo de la mecha (DEAlong) es mayor en animales de alto peso de vellón indicando que los animales que producen más lana responden en mayor medida a la variación estacional de la nutrición. Sin embargo la baja heredabilidad de esta característica (Yamin *et al.*, 1999) implica que probablemente sea una herramienta de mayor beneficio como herramienta de manejo para reconocer el estatus nutricional de los animales y ajustar la presión de pastoreo (Peterson *et al.*, 2000) que como criterio de selección.

### 2.3.3 Tasas de cambio de diámetro

Comparando los promedios generales de ambas tasas que fueron 0,116  $\mu\text{m}/\text{mm}$  para TCD1 y 0,080  $\mu\text{m}/\text{mm}$  para TCD2; las diferencias entre estas fueron significativas ( $P<0,0001$ ) (ver en Tabla 3 promedios por combinación de niveles de los factores). Esto

implica que los cambios en el diámetro fueron más abruptos desde la punta de la mecha hasta el MAX, que desde el MAX hasta la base de la mecha. Esta diferencia estaría explicada por la diferencia en disponibilidad de forraje de primavera-verano, comparado con otoño-invierno, que se traduce en un engrosamiento de las fibras más marcado en el primer periodo al compararlo con la tasa a la cual se reduce el diámetro a partir del pico máximo, desde final del verano y a través del otoño e invierno hasta el momento de la esquila (base de la mecha).

La TCD1 resultó afectada por la línea genética y el período (ver Tabla 2), pero no por la edad de los animales. La línea Control tuvo tasas promedio de aumento del diámetro significativamente mayores que la línea Superfina (0,125 vs. 0,110  $\mu\text{m}/\text{mm}$ , respectivamente;  $P<0,0001$ ) y siendo el promedio de esta variable mayor en el periodo Húmedo que en el Seco (0,127 vs. 0,109  $\mu\text{m}/\text{mm}$ , respectivamente;  $P<0,0001$ ), lo cual podría explicarse por las condiciones ambientales más favorables del primero y que se expresó en mayores valores promedios en todas las variables asociadas a diámetro.

Para la TCD2 resultó significativa la interacción G\*P ( $P<0,0001$ ). Analizando la misma se observa que las condiciones del periodo Húmedo permitieron una tasa de reducción del diámetro similar entre ambas líneas genéticas (0,069 vs 0,066  $\mu\text{m}/\text{mm}$  para Control y Superfina, respectivamente) a diferencia de lo ocurrido en el periodo Seco donde la tasa de disminución del diámetro fue significativamente mayor en la línea Control que en la Superfina (0,108 vs. 0,088  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ) (Tabla 6).

**Tabla 6.** Efecto de la interacción línea genética\*periodo sobre medias mínimas cuadradas de la tasa final de cambio de diámetro (TCD2).

<b>Periodo</b>	<b>Núcleo superfino</b>	<b>Control fino</b>
<b>Húmedo</b>	0,066	0,069
<b>Seco</b>	0,088 b	0,108 a

Ver abreviaturas y unidades en Tabla 1.

Letras distintas dentro de filas indican diferencias significativas al 1%.

La línea genética afectó las tasas con las cuales aumentó o disminuyó el diámetro. Durante la primera fase del crecimiento (fin de invierno-primavera-principio del verano) donde la disponibilidad de forraje en cantidad y calidad no es limitante en estos ambientes debido a la alta tasa de crecimiento de los pastizales (Celso Giraudo, datos no publicados), la línea Superfina tuvo menor tasa de cambio del diámetro que la línea Control, mientras que en la segunda fase de crecimiento (fin de verano, otoño e invierno), con una disponibilidad de

forraje cada vez más restringida a medida que pasa el tiempo (Giraud y Somlo, 1995), la línea Superfina disminuyó su diámetro a una tasa similar que la majada Control en el año Húmedo pero a una tasa menor que la majada Control en el periodo Seco.

Este comportamiento de la línea genética superfina es muy conveniente para quienes pretenden producir lanas más finas ya que, aun en las condiciones más adversas (fase de afinamiento del periodo Seco), no tuvieron una caída abrupta del diámetro de fibra, lo cual podría afectar su calidad, evidenciando su capacidad de adaptación al ambiente. Hynd (1989) y Brown *et al.* (2002b) encontraron que ovinos Merino de lanas finas tuvieron menores aumentos del diámetro con aumentos en la alimentación y menores disminuciones del diámetro con disminuciones en la alimentación.

## **2.4 Conclusiones**

La principal conclusión del trabajo es que la ausencia de diferencias en los coeficientes de variación entre fibras y a lo largo de la fibras, demostraría que ambas líneas genéticas reaccionaron del mismo modo frente a las variaciones ambientales de cada periodo, tal como lo harían curvas paralelas no coincidentes y en ese sentido concuerdan con los hallazgos previos sobre ausencia de interacción genotipo\*ambiente para DMF, entre otras variables, encontrados previamente en estas líneas. Por lo tanto, el temor de producir lanas superfinas en ambientes con períodos climáticos muy fluctuantes y sistemas de producción extensivos no está justificado, ya que lanas superfinas se ven afectadas por el ambiente tal como lo hacen otros tipos de lanas.

Una excepción se encontraría en las variables Min2 y TCD2, de por si relacionadas, donde se observó interacción significativa de línea genética\*periodo que indicaría que la línea Superfina fue menos sensible a los efectos ambientales que la lana de Merinos tradicionales.

Esta información es importante cuando se diseñan estrategias de alimentación para atenuar el efecto de los cambios de estación como: pastoreo controlado durante los períodos de elevada oferta forrajera y rápido aumento en el diámetro, y alimentación suplementaria durante períodos de déficit estacionales de forraje y rápida declinación en el diámetro, que permiten reducir en ambos casos la variación en el diámetro medio de las fibras a lo largo de la mecha, una característica importante desde el punto de vista textil particularmente en lanas de alto valor.

La diferencia en DMF entre ambas líneas genéticas (en promedio 2,7 micrones) se ha profundizado en relación a hallazgos previos y depende de la edad de los animales, con diferencias mayores en la categoría Jóvenes y menores en la categoría Viejas.

Las variables específicamente relacionadas a los Perfiles de Diámetro de Fibra, tales como MAX, Min1, Min2, CVAlong, TCD1 y TCD2, no aportan información adicional y relevante a la proporcionada por las mediciones típicas sobre muestras de costillar (DMF y CVDMF) cuando se pretende comparar líneas genéticas Merino dentro de ambientes. Sin embargo, la bibliografía disponible indica que toman relevancia cuando se comparan padres entre y dentro de ambientes.



## CAPITULO 3

### ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTADOS FISIOLÓGICOS

#### 3.1 Introducción

El consumo de forraje de ovinos manejados bajo pastoreo continuo, en ambientes con fluctuaciones estacionales en la cantidad y calidad de forraje disponible, produce considerables variaciones en las tasas de ganancias de peso corporal y en el crecimiento de la lana (Thompson *et al.*, 1994). Los productores necesitan comparar los requerimientos nutricionales de los animales, con el aporte de los potreros en las diferentes estaciones y años. La habilidad para planificar la utilización del forraje adecuadamente, es esencial en sistemas ganaderos extensivos de regiones con amplia variación estacional en la producción de pasturas.

Las tasas de crecimiento de la lana, en largo y en diámetro de fibra, están influenciadas marcadamente por la cantidad de nutrientes absorbidos y por la repartición de estos en funciones de mantenimiento, producción y reproducción (Doyle y Thompson, 1994). El proceso de gestar y criar un cordero resulta en la disminución de la producción de lana a través de menores pesos de vellón, diámetros de fibras y largos de mecha (Corbett, 1979; Masters y Stewart, 1990). Las disminuciones dependen de la cantidad y calidad de forraje disponible (Corbett y Furnival, 1976), varían entre 7 y 26%, y son mayores cuando se gestan mellizos (Turner *et al.*, 1968). Robertson *et al.* (2000) han sugerido que diversas características de la lana y el estado fisiológico se relacionan funcionalmente al quedar determinado el plano nutricional. Más aún, la cantidad y calidad de lana producida por un individuo durante su vida está influenciada por la nutrición de su progenitora durante la gestación y lactancia. La evidencia experimental sugiere fuertemente que hembras mejor alimentadas podrían producir descendencia que produce más lana y más fina a través de su vida (Thompson y Young, 2002). El análisis de la información disponible indica que el efecto de mejorar la alimentación de las hembras en la preñez tardía es potencialmente importante, inclusive en el mediano y largo plazo (Kelly *et al.*, 1996).

El Perfil de Diámetro de Fibras (PDF) es una secuencia de mediciones repetidas de diámetros que representan el período anual de crecimiento de la fibra y permiten examinar la manera en la cual los diámetros de fibras de lana varían a través del periodo anual de crecimiento, en respuesta a cambios en el aporte y demanda de nutrientes. El patrón de variabilidad del diámetro a lo largo de las fibras influye en su calidad (Hansford *et al.*, 1985;

Brown *et al.*, 1999 y 2002b). Si bien muchos trabajos utilizaron descriptores univariados del PDF (MIN, DMF, TCD1, etc.) para examinar diferencias genéticas individuales, parentales y de líneas genéticas, como los de Hansford y Kennedy (1998), Adams *et al.* (1996 y 1998) o Brown *et al.* (2002b), entre otros, no existe información sobre la utilización de estos para evaluar la forma en que influye el estado fisiológico sobre la variación de diámetro en la raza Merino en Argentina. Varios autores (Oddy, 1985; Montgomery y Hawker, 1987 y Williams y Butt, 1989) encontraron que el efecto del estado fisiológico sobre los patrones de crecimiento de la lana es diferente en distintas razas ovinas.

De acuerdo a nuestra experiencia en la zona de Sierras y Mesetas de Río Negro, Argentina, en ovejas Merino, se observó que llegan al parto en estados deficientes de peso y condición corporal debido a la reducción en la disponibilidad de forraje, mientras que brindando alimentación *ad libitum* en el último tercio de gestación, es posible mantener en el parto (descontando el peso del feto, anexos de la gestación y el crecimiento de la lana) el peso corporal al servicio (Giraud y Somlo, 1995). Las pérdidas de peso vivo en las madres, normalmente están asociadas a menores valores en los pesos de vellón limpio, en la resistencia a la tracción, en los pesos al nacimiento y en la supervivencia de las crías, y a cambios permanentes en la población de folículos de la piel del feto (Mueller *et al.*, 1995; Thompson y Young, 2002). Estos últimos se espera que influyan en la cantidad y calidad de lana producida por la descendencia, tal como se observa entre nacidos simples y mellizos (Lewer *et al.*, 1992).

En el presente trabajo se pretende evaluar los efectos del estado fisiológico y la edad sobre descriptores univariados de los PDF en lanas preparto de ovejas Merino.

## **3.2 Materiales y Métodos**

### *3.2.1 Ubicación y clima*

El trabajo se llevó a cabo en la localidad de Pilcaniyeu en el NO de la provincia de Río Negro (41° 07' S, 70° 44' W). El campo tiene una altitud variable de 760-1150 msnm, sin período libre de heladas, con una precipitación media anual de 260 mm, representativo de la región fitogeográfica de Sierras y Mesetas patagónicas. Las precipitaciones tienen una distribución de tipo mediterráneo con marcada concentración invernal. La temperatura promedio de julio es de 0,9°C; mientras que la media de febrero es de 14,2°C. Estas condiciones determinan pastizales naturales de estepa y mallines que soportan una carga anual promedio de 0,33 unidades de oveja seca por hectárea.

El ensayo cubrió dos periodos consecutivos de crecimiento: septiembre 2005 a septiembre 2006 con una precipitación anual de 350 mm y septiembre 2006 a septiembre 2007 con una precipitación anual de 213 mm. Considerando el desvío de ambos periodos de la precipitación histórica (266 mm), se identificó al primero como “Húmedo” y al segundo como “Seco”.

### 3.2.2 *Animales experimentales*

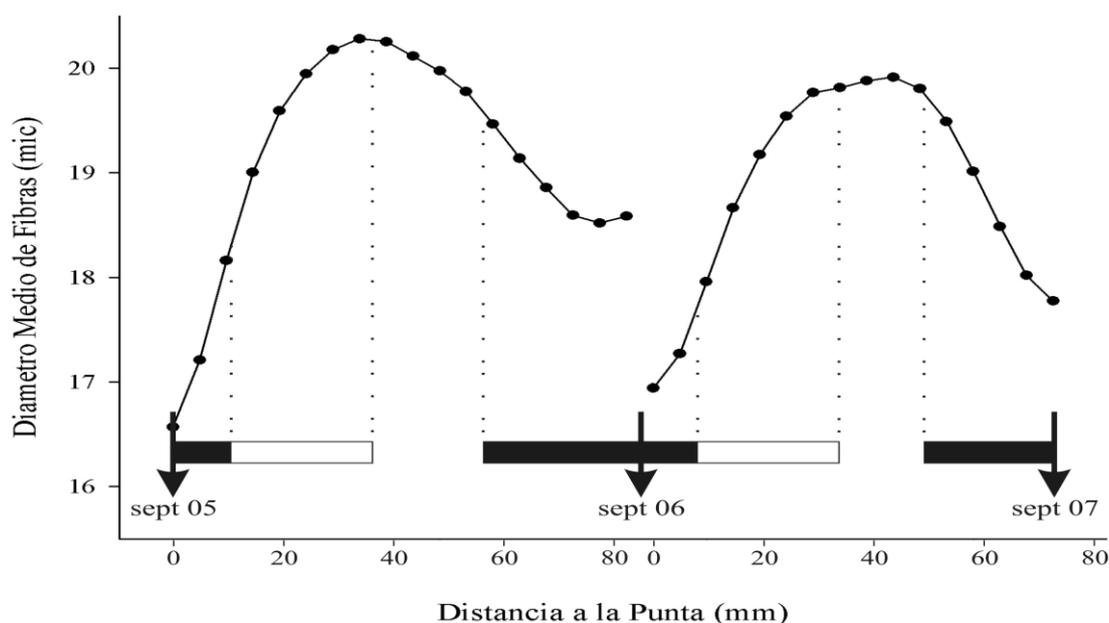
Se trabajó sobre un núcleo genético superfino de hembras (n=198 en el periodo Húmedo y n= 240 en el periodo Seco) que fueron clasificadas por la edad como Adultas a las ovejas de 3° y 4° esquila nacidas en 2002 y 2003, respectivamente (período Húmedo) y nacidas en 2003 y 2004 (período Seco); y como Viejas a las ovejas de 5° y 6° esquila nacidas en 2000 y 2001 (período Húmedo) y nacidas en 2001 y 2002 (período Seco).

Las fechas en las cuales se realizan las principales prácticas de manejos son:

- octubre-noviembre: Control de parición diario para identificar los corderos nacidos y vincular a su correspondiente madre.
- enero: Destete. Se inspeccionan ubres para codificar aquellas lactantes, secas y las que perdieron su cordero o lo destetaron antes. Se controlan los corderos presentes.
- mayo: Servicio. Por Inseminación Artificial y repaso con carneros a campo.
- septiembre: Esquila y toma de muestras individuales de 120 g de la zona del costillar. Registro de peso de vellón e inspección de las ubres de borregas y ovejas para determinar preñez.

El estado fisiológico de las ovejas se consideró en dos momentos del año; al destete de acuerdo a si destetaron (DTT) o no destetaron corderos (NOD) y en la esquila como preñadas (PRE) o secas (SEC). Mediante la combinación de los registros del destete y esquila se obtuvieron como resultado las clases DTTPRE, hembras que destetaron corderos y quedaron preñadas en el servicio siguiente; DTTSEC, hembras que destetaron corderos pero no quedaron preñadas en el servicio siguiente; NODPRE, hembras vacías en el servicio anterior (y que por lo tanto no destetaron corderos) pero quedaron preñadas en el servicio actual y NODSEC, hembras no preñadas en el servicio del año previo ni en el actual. Las hembras que estaban gestando pero no destetaron corderos por abortos, muertes perinatales, etc. se excluyeron del análisis (n=9).

En la Figura 5 están representados esquemáticamente los perfiles promedio de diámetro de fibra para cada periodo y la correspondiente ubicación temporal de la gestación, lactancia y esquilas.



**Figura 5.** Representación esquemática de los perfiles promedio de diámetro de fibra, estados fisiológicos y esquila en dos periodos de crecimiento. Referencias: barra sólida, gestación; barra vacía, lactancia; flechas, esquilas.

### 3.2.3 Muestreo y mediciones

Al momento de la esquila se extrajeron de cada animal muestras de aproximadamente 120 g de lana de la zona del costillar que se analizaron utilizando un equipo OFDA 2000.

El equipo OFDA 2000 realiza mediciones de diámetros sobre 100 a 150 fibras en secciones transversales de mechas de lana cada 5 mm hasta recorrer toda su longitud. Con la secuencia de mediciones correspondientes a cada mecha se obtiene lo que se denomina Perfil de Diámetro de Fibra (PDF). En los PDF se determinaron tres puntos principales; el diámetro máximo (abreviatura: MAX; unidad:  $\mu\text{m}$ ), el diámetro mínimo inicial (Min1;  $\mu\text{m}$ ) entre el MAX y la punta de la mecha; y el diámetro mínimo final (Min2;  $\mu\text{m}$ ) entre el MAX y la base de la mecha. Además de estas tres variables se calcularon, ajustando la pendiente entre los respectivos diámetros máximos y mínimos, dos tasas de cambio del diámetro, la primera entre el Min1 y el MAX (TCD1;  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ) y la segunda entre el MAX y el Min2 (TCD2;  $\mu\text{m}/\text{mm}$ ). Adicionalmente el equipo OFDA provee el valor de diámetro medio de fibra (DMF;  $\mu\text{m}$ ) y su

coeficiente de variación (CVDMF; %), y el coeficiente de variación de diámetros a lo largo de la fibra (CVAlong; %).

La naturaleza de los descriptores univariados considerados implican expresiones fenotípicas de lo ocurrido en todo el periodo de crecimiento (DMF, CVDMF y CVAlong), en la primera parte del crecimiento (TCD1), en la segunda parte del crecimiento (TCD2) o en momentos puntuales (MAX, Min1 y Min2).

### 3.2.4 Análisis de datos

Los factores considerados, todos de carácter fijo, fueron: estado fisiológico (EF), edad (E), período (P).

Se utilizó el siguiente modelo, incluyendo las interacciones de primer orden, correspondiente a un Diseño Completamente Aleatorizado:

$$y^{(p)}_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + e_{ijkl} ,$$

tal que  $y^{(p)}_{ijkl}$  es la  $l$ -ésima observación correspondiente al  $i$ -ésimo estado fisiológico,  $j$ -ésima edad y  $k$ -ésimo período (donde el superíndice  $p$  varía de 1 a 8 indicando cada una de las 8 variables analizadas);  $\mu$  es la media poblacional,  $\alpha_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo estado fisiológico,  $\beta_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima edad,  $\delta_k$  es el efecto del  $k$ -ésimo período;  $(\alpha\beta)_{ij}$ ,  $(\alpha\delta)_{ik}$  y  $(\beta\delta)_{jk}$  son los efectos de interacción de los respectivos factores involucrados; con  $e_{ijkl}$  errores aleatorios, independientes entre sí, con distribución Normal con promedio nulo y varianza  $\sigma^2$ .

Dentro de los estados fisiológicos se realizaron dos contrastes *a priori*, de interés biológico, de comparación de valores promedios de los descriptores univariados: 1) entre hembras que no gestaron ni amantaron corderos *versus* hembras que amantaron corderos hasta el destete (NOD vs. DTT), 2) entre hembras con gestación temprana -en promedio 3,5 meses de gestación- *versus* hembras no preñadas al momento de la esquila (PRE vs. SEC). Debido a que Min1, MAX y TCD1 corresponden al crecimiento previo al servicio (mes de mayo), para estos descriptores no se consideró este último contraste.

Las pruebas de hipótesis se realizaron con un nivel de significación del 1%. Se emplearon procedimientos del paquete estadístico SAS (2009). Para las interacciones significativas se procedió a la apertura de la misma en función del factor de mayor interés.

Las magnitudes de ambos diámetros mínimos (inicial y final), y ambas tasas de cambios (inicial y final), se compararon en base a un test *t* de *Student* para comparaciones apareadas.

Se realizaron análisis de residuales, que incluyeron test de Normalidad (Kolmogorov), estimación de Momentos (Skewness y Curtosis) y test de Homogeneidad de Varianza (Levene).

### 3.3 Resultados y discusión

La significancia estadística de los efectos fijos y sus interacciones se resumen en la Tabla 7. De acuerdo a estos resultados se presentan los valores de promedios generales por Estado Fisiológico y Edad\*Periodo en las Tablas 6 y 7, respectivamente.

**Tabla 7:** Significancia de los efectos de estado fisiológico, edad, periodo y sus interacciones sobre descriptores univariados del Perfil de Diámetro de Fibra.

Variable	Estado Fisiológico (EF)	Edad (E)	Periodo (P)	EF*E	EF*P	E*P
<b>DMF</b>	ns			ns	ns	*
<b>MAX</b>	*			ns	ns	*
<b>Min1</b>	*	*	ns	ns	ns	ns
<b>Min2</b>	ns			ns	ns	*
<b>CVDMF</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CVAlong</b>	ns			ns	ns	*
<b>TCD1</b>	*			ns	ns	*
<b>TCD2</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Ver abreviaturas en Tabla 1. Símbolos: ns, P>0,01; \*, P<0,01.

**Tabla 8:** Valores promedios, error estándar (entre paréntesis) y número de observaciones (en itálicas) por estados fisiológicos.

Variable	Estado Fisiológico			
	DTTPRE	DTTSEC	NODPRE	NODSEC
<b>DMF</b>	18,5 (0,10) <i>186</i>	18,5 (0,20) <i>50</i>	18,9 (0,11) <i>138</i>	19,0 (0,20) <i>64</i>
<b>MAX</b>	20,3 b (0,11) <i>235</i>		20,9 a (0,12) <i>202</i>	
<b>Min1</b>	16,4 b (0,09) <i>235</i>		17,0 a (0,11) <i>202</i>	
<b>Min2</b>	17,7 (0,11) <i>185</i>	18,1 (0,21) <i>50</i>	17,6 (0,12) <i>138</i>	17,8 (0,19) <i>64</i>
<b>CVDMF</b>	18,5 (0,13) <i>186</i>	18,6 (0,24) <i>50</i>	18,6 (0,15) <i>138</i>	18,8 (0,24) <i>64</i>
<b>CVAAlong</b>	6,6 (0,14) <i>186</i>	6,9 (0,26) <i>50</i>	6,9 (0,15) <i>138</i>	6,8 (0,22) <i>64</i>
<b>TCD1</b>	0,109 b (0,002) <i>234</i>		0,127 a (0,004) <i>199</i>	
<b>TCD2</b>	0,080 (0,002) <i>180</i>	0,082 (0,005) <i>49</i>	0,072 (0,002) <i>137</i>	0,075 (0,005) <i>64</i>

Ver abreviaturas y unidades en Tabla 1. Referencias: DTTPRE, hembras que destetaron corderos y quedaron preñadas en el último servicio; DTTSEC, hembras que destetaron corderos del año previo pero no quedaron preñadas en el último servicio; NODPRE, hembras que no destetaron corderos pero que quedaron preñadas en el último servicio; NODSEC, hembras que no destetaron corderos ni quedaron preñadas en el último servicio;

Letras distintas dentro de filas implican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ), relativas a contrastes *a priori* o prueba de hipótesis para efectos principales. Dentro de cada fila, la ausencia de letras implica diferencias no significativas entre esos promedios.

Para ayudar a la presentación de los resultados, los descriptores univariados analizados se ordenaron en tres grupos de acuerdo al tipo de variable que representan: (1) variables relativas a diámetros que incluyen a DMF, MAX, Min1 y Min2; (2) coeficientes de variación que incluyen a CVDMF y CVAAlong; (3) tasas de cambios de diámetros que incluyen a TCD1 y TCD2.

**Tabla 9:** Valores promedios, error estándar (entre paréntesis) y número de observaciones (en itálicas) por edades en dos periodos de crecimiento.

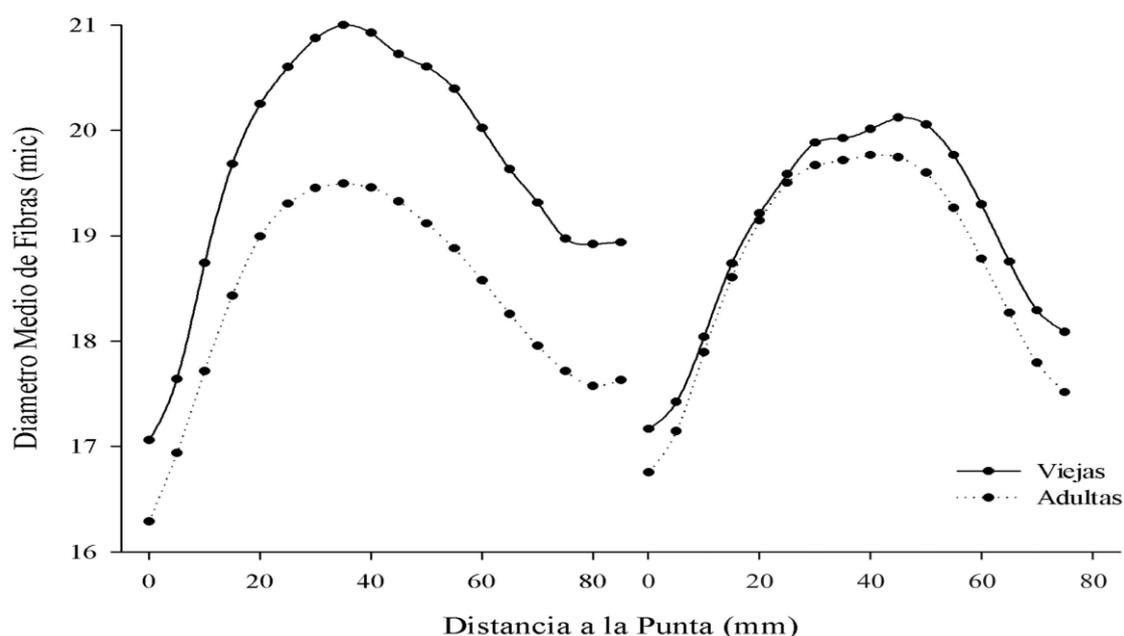
Variable	Húmedo		Seco	
	Adultas	Viejas	Adultas	Viejas
<b>DMF</b>	18,2 b (0,12) <i>104</i>	19,5 a (0,15) <i>94</i>	18,5 (0,11) <i>130</i>	18,8 (0,14) <i>110</i>
<b>MAX</b>	20,1 b (0,15) <i>104</i>	21,6 a (0,18) <i>94</i>	20,2 (0,14) <i>130</i>	20,4 (0,17) <i>109</i>
<b>Min1</b>	16,2 b (0,14) <i>104</i>	17,0 a (0,15) <i>94</i>	16,6 b (0,12) <i>130</i>	16,9 a (0,14) <i>109</i>
<b>Min2</b>	17,2 b (0,11) <i>104</i>	18,6 a (0,15) <i>94</i>	17,4 (0,12) <i>130</i>	17,9 (0,15) <i>109</i>
<b>CVDMF</b>	18,7 (0,17) <i>104</i>	18,6 (0,17) <i>94</i>	18,3 (0,14) <i>130</i>	18,8 (0,18) <i>110</i>
<b>CVAlong</b>	6,4 b (0,16) <i>104</i>	7,0 (0,20) <i>94</i>	7,3 a (0,16) <i>130</i>	6,6 (0,18) <i>110</i>
<b>TCD1</b>	0,115 b (0,005) <i>104</i>	0,138 a (0,006) <i>94</i>	0,112 (0,004) <i>127</i>	0,105 (0,004) <i>108</i>
<b>TCD2</b>	0,075 (0,003) <i>102</i>	0,083 (0,004) <i>93</i>	0,077 (0,003) <i>128</i>	0,074 (0,003) <i>107</i>

Ver abreviaturas y unidades en Tabla 1. Letras distintas dentro de filas implican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ), relativas a prueba de hipótesis para efectos principales. Dentro de cada fila, la ausencia de letras implica diferencias no significativas entre esos promedios.

### 3.3.1 Variables relativas a diámetros

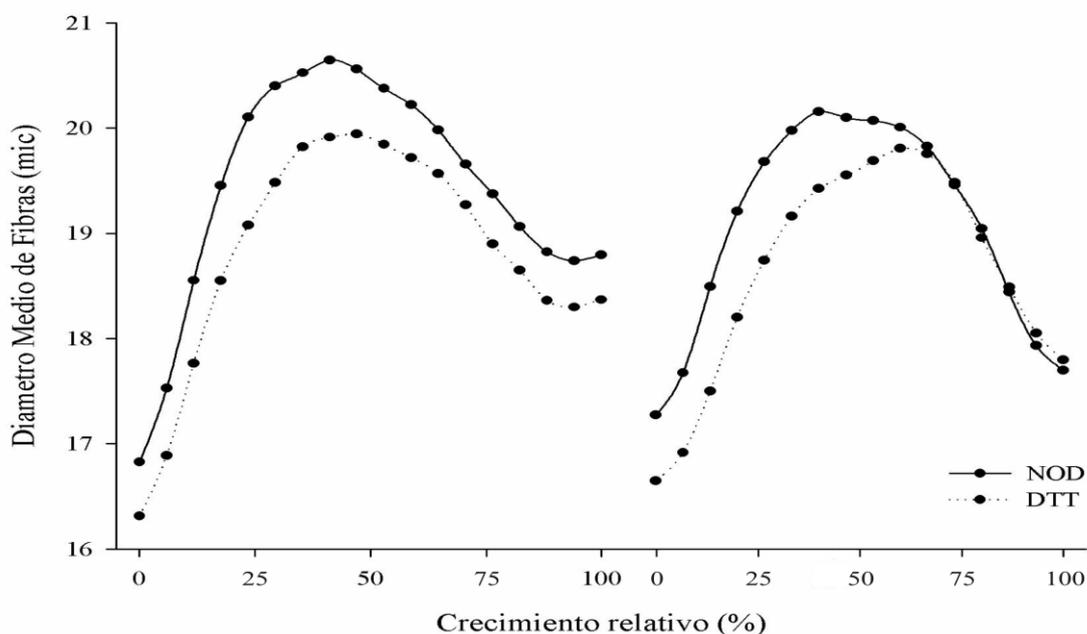
Las diferencias debidas a Estado Fisiológico (factor de 4 niveles) fueron significativas para las variables MAX y Min1 ( $P < 0,0004$  y  $P < 0,0001$ ; respectivamente). Analizando a través de los contrastes *a priori* mencionados, la diferencia en requerimientos nutricionales debidas al último tercio de gestación y lactancia tuvieron su efecto sobre el MAX y Min1 donde las hembras NOD, con menores requerimientos, fueron significativamente mas gruesas que las DTT (diferencia entre promedios: 0,6  $\mu\text{m}$  y  $P < 0,0001$  en ambos casos, ver Tabla 8). Por su parte la variable Min1 también fue afectada por la edad donde las Adultas fueron 0,6  $\mu\text{m}$  más finas en promedio que las Viejas (16,4  $\mu\text{m}$  vs. 17,0  $\mu\text{m}$ ; respectivamente;  $P < 0,0001$ , ver Tabla 9).

La interacción E\*P resultó significativa ( $P < 0,0001$  en todos los casos) para DMF, MAX y Min2 (Figura 6). La apertura de las interacciones mostró un comportamiento similar en esas tres variables: las diferencias entre los valores promedios de estas variables entre Viejas y Adultas del periodo Húmedo (diferencias significativas) se reducen marcadamente en el periodo Seco (diferencias no significativas), pasando de 1,3 a 0,3  $\mu\text{m}$  en DMF, de 1,5 a 0,2  $\mu\text{m}$  en MAX, de 1,4 a 0,5  $\mu\text{m}$  en Min2 (ver Tabla 9).



**Figura 6.** Perfiles promedio de Diámetro de Fibra para ovejas de distintas edades (Adultas y Viejas) en dos periodos de crecimiento (Húmedo y Seco, izquierda y derecha, respectivamente).

Se concluye que el estado fisiológico afectó el diámetro medio de fibras en momentos puntuales del crecimiento de la lana, particularmente desde la esquila hasta el destete. Durante este periodo las ovejas gestantes y lactantes tuvieron menores diámetros de fibra. Los resultados observados aquí coinciden en parte con los de Oddy (1985), quien encontró diferencias de un micrón entre hembras lactantes y no lactantes en el primer mes de lactancia pero no en el tercero. En nuestro caso se observó que las diferencias entre los grupos NOD y DTT se incrementan gradualmente hasta un máximo de un micrón entre los 10 y 20 mm de la punta de la mecha (12,5 al 25% del largo promedio de mecha). A partir de ahí las curvas que describen los PDF comienzan a acercarse paulatinamente reduciendo las diferencias en diámetro (ver Figura 7) por lo que se considera que los efectos que tienen la gestación y lactancia sobre el diámetro de fibras de las ovejas no son permanentes ni definitivos (diferencias no significativas para DMF).



**Figura 7.** Perfiles promedio de Diámetro de Fibra, expresados como crecimiento relativo (porcentaje del largo total), de ovejas gestantes-lactantes (DTT) y secas (NOD) en dos períodos de crecimiento (Húmedo y Seco, izquierda y derecha, respectivamente).

Los valores promedios de Min1 fueron menores a los de Min2 (16,7  $\mu\text{m}$  vs. 17,7  $\mu\text{m}$ ;  $P < 0,0001$ ) convirtiéndose el primero en el mínimo absoluto de todo el periodo de crecimiento, esto se debería a la concordancia de efectos ambientales adversos (bajas temperatura y disponibilidad de forraje) que afectarían a todas las hembras y altos requerimientos nutricionales particularmente para el caso de hembras gestantes. Analizando las diferencias entre el mínimo final del primer periodo y el mínimo inicial del segundo periodo, o sea, mediciones, en teoría, contiguas, se encontraron valores de 0,4  $\mu\text{m}$  para hembras NOD y 0,9  $\mu\text{m}$  para hembras DTT, estas diferencias, fueron marginalmente significativas ( $P < 0,0241$ ). Sin embargo, las diferencias entre estos mínimos no fueron afectadas significativamente por la Edad (0,5  $\mu\text{m}$  vs. 0,7  $\mu\text{m}$  para Adultas y Viejas, respectivamente;  $P < 0,3800$ ).

Como información adicional se analizó la posición relativa del MAX a lo largo de la mecha (PRMAX) expresado como porcentaje del largo total. Este análisis tuvo como objetivo evaluar la simultaneidad con la cual se expresa el diámetro máximo en los diferentes grupos de ovejas consideradas en este trabajo. La PRMAX cambió entre estados fisiológicos y periodos ( $P < 0,0001$  en ambos) pero no entre edades; ubicándose en promedio al 38% del largo para las hembras NOD y al 56% del largo para las DTT. De esto se deduce que las hembras del grupo DTT tardaron más días (aproximadamente 68 días asumiendo crecimiento

constante) en alcanzar su diámetro máximo. Posiblemente la preñez y lactancia afecten la velocidad de crecimiento de las fibras. Con respecto al efecto del Periodo, la PRMAX se ubicó al 41% en el Húmedo y al 53% en el Seco. En este caso también las condiciones más difíciles del periodo Seco produjeron un retraso en la expresión del diámetro máximo.

Estudios de evolución del peso corporal en ovejas Merino (Giraud y Somlo, 1995) demostraron que las mayores ganancias de peso que tienen ovejas secas en comparación con preñadas, implican mayores pesos corporales hacia el final del verano para las primeras. En esta época del año el forraje disponible no alcanza a cubrir sus mayores requerimientos, por lo que les resulta difícil mantener el peso corporal. El hecho de que las hembras secas alcancen más temprano su máximo peso corporal implica también que más temprano comienzan a perderlo; de igual modo a lo que sucede con el diámetro de fibras máximo. El momento en el que llegan al diámetro máximo depende exclusivamente del estado fisiológico y no de la edad de los animales.

### *3.3.2 Coeficientes de variación del diámetro medio y de diámetros a lo largo de la mecha*

Ninguno de los efectos evaluados produjo diferencias significativas en el CVDMF, sin embargo para CVAAlong la interacción E\*P resultó significativa ( $P < 0,0007$ ). La apertura de la misma mostró que las hembras Adultas aumentaron significativamente su coeficiente de variación a lo largo de la mecha en el periodo Seco ( $P < 0,0032$ ) mientras que las Viejas no manifestaron diferencias significativas entre ambos períodos ( $P < 0,1344$ ) (Tabla 9).

### *3.3.3 Tasas de Cambio de Diámetro*

En general la TCD1 describe un periodo de tiempo donde se produce un marcado aumento del diámetro mientras que la TCD2 describe un periodo donde la disminución del diámetro se produce lentamente a medida que pasa el tiempo. Los valores de TCD1 se caracterizaron por ser de mayor magnitud que los de TCD2 ( $0,117 \mu\text{m}/\text{mm}$  vs.  $0,077 \mu\text{m}/\text{mm}$ , respectivamente;  $P < 0,0001$ ). Esto implica que los cambios en el diámetro fueron más abruptos, por unidad de longitud, en la primera que en la segunda etapa de crecimiento; dicho de otra forma, la pendiente con la que aumentó el diámetro desde la punta de la mecha hasta el MAX es más marcada que la pendiente con la cual se redujo el diámetro desde el MAX hacia la base de la mecha. Estas diferencias se deberían a la mayor disponibilidad de forraje de primavera-verano comparado con otoño-invierno, que se traduce en un engrosamiento de las fibras más acelerado en el primer periodo que la tasa a la cual se reduce el diámetro luego del pico de producción de forraje a mediados del verano. Es necesario mencionar que el

efecto directo del fotoperíodo en el crecimiento de las lanas Merino es escaso o nulo (Nagorcka, 1979).

Los valores de TCD1 fueron afectados significativamente por el Estado Fisiológico ( $P<0,0002$ ) y la interacción E\*P ( $P<0,0003$ ). Las hembras NOD aumentaron su diámetro a una tasa 16% mayor que las hembras DTT (0,127  $\mu\text{m}/\text{mm}$  vs. 0,109  $\mu\text{m}/\text{mm}$ , respectivamente) (Tabla 8). Una posible explicación podría estar en la distinta partición de nutrientes (movilización de reservas) que realizan las ovejas preñadas *versus* las secas, que han quedado desprovistas de su abrigo, para mantener la temperatura corporal, aumentando el consumo y producir leche durante la lactancia, quedando relegado el engrosamiento de las fibras. Williams y Butt (1989) encontraron que la disminución de la producción de lana no es una consecuencia obligada de la gestación ya que puede ser prevenida por un manejo nutricional que reconozca los requerimientos adicionales de nutrientes de las hembras preñadas.

La apertura de la interacción E\*P mostró que en el periodo Húmedo las hembras Viejas tuvieron una TCD1 17% mayor a las Adultas ( $P<0,0002$ ), mientras que en el periodo Seco ambos grupos etarios tuvieron tasas similares ( $P<0,2020$ ) (Tabla 9). Cuando no hubo limitantes ambientales las hembras Viejas engrosaron sus fibras a una mayor tasa (Figura 3).

La TCD2, por su parte, no fue afectada por ninguno de los efectos evaluados.

El estado fisiológico afectó la TCD1 pero no la TCD2, posiblemente debido a que el aumento sustancial de los requerimientos nutricionales relacionados a la gestación no se da sino hasta el último tercio de la misma. Por ejemplo, para ovejas de 40 kg de peso el requerimiento de energía metabolizable es de 6 MJ/día en mantenimiento *versus* 11 MJ/día al final de la gestación (McDonald, 2002). Cualquier diferencia en el diámetro de fibras debidas a distintos estados fisiológicos se manifiesta a partir del último tercio de gestación y no son permanentes ya que se reducen paulatinamente luego del destete hasta desaparecer, al equipararse los requerimientos nutricionales.

### 3.4 Conclusiones

El estado fisiológico afectó significativamente las características del diámetro de fibra en momentos puntuales del crecimiento de la mecha. Las diferencias en el diámetro se observaron, particularmente, al comparar hembras en el último tercio de gestación y lactancia *versus* hembras secas. El efecto del estado fisiológico sobre el diámetro de fibras no es permanente y tiende a reducirse paulatinamente luego del pico de lactancia o el destete; condicionando también el valor del diámetro máximo. Sin embargo, en ningún caso pudo demostrarse algún efecto de la preñez temprana sobre las variables estudiadas.

Las variables contemporáneas con la condición fisiológica inicial (NOD y DTT) tales como Min1, MAX y TCD1 fueron afectadas por esta, mientras que las variables Min2 y TCD2 no fueron afectadas por la condición fisiológica final (PRE o SEC), ni tampoco por la condición fisiológica inicial (NOD o DTT).

Las mayores exigencias en requerimientos nutricionales de hembras que gestan y crían corderos hasta el destete produjeron valores promedios menores en los diámetros de fibras al compararlo con las hembras no gestantes. Esta información puede ser útil para los casos en que sea posible un manejo diferencial de las ovejas secas y lactantes (disponibilidad de potreros), mejorando la alimentación de las últimas a expensas de las primeras. El pastoreo diferencial de ovejas secas, a partir de la esquila, a una carga animal mayor restringiendo la disponibilidad de forraje, reduciría la elevada tasa de aumento del diámetro y el diámetro medio de fibras, permitiendo un uso más eficiente de los recursos forrajeros e incluso una mayor producción de lana por hectárea. El manejo de la oferta de forraje en primavera es una herramienta útil para controlar algunas características de la lana, aumentar la utilización de los pastizales y la producción total de lana por unidad de superficie.

Las diferencias entre DMF, MAX y Min2 que ocurren entre grupos etarios en el periodo Húmedo (mayores valores para Viejas) se redujeron marcadamente o desaparecieron en el periodo Seco. Es probable que las condiciones ambientales más restrictivas del segundo año impidieran toda posibilidad de expresión de diferencias entre edades afectando en mayor medida a las hembras Viejas. La separación de lanas por grupos etarios (dentición o registros de año de nacimientos), permite discriminar lanas de acuerdo a su calidad logrando una mayor especificación y uniformidad de los lotes ofrecidos para la venta. La efectividad de esta práctica estaría supeditada a años con precipitaciones por encima de la media. Bajo las condiciones actuales de precios de mercado, la diferencia esperable entre lanas de 18,2 y 19,5

$\mu\text{m}$ , asumiendo un Rinde al Peine Schlumberger seco de 65%, sería de 0,64 centavos de dólar por kilo de lana sucia (SIPyM, 2010).

Sería interesante considerar la aplicación de técnicas de teñido de fibras (*dye banding*) en momentos críticos como el destete, servicio, u otros, que posibiliten ubicar temporalmente determinados diámetros, calcular velocidades de crecimiento (elongación de fibra) y producción de lana en distintas épocas del año. Con esa información sería posible conocer la dinámica de crecimiento de la lana y ajustar con mayor precisión el manejo nutricional y fecha de esquila de las majadas en ese ambiente.

## CAPITULO 4

### UTILIZACIÓN DE REGRESIONES *P-SPLINE* PARA ESTUDIAR EL EFECTO DEL ESTADO FISIOLÓGICO

#### 4.1 Introducción

La variación del diámetro a lo largo de las fibras de lana es el resultado de factores genéticos, nutricionales, fisiológicos y sanitarios que afectan de manera directa la actividad folicular. El perfil de diámetro de fibra (PDF) resultante de esa variación es un indicador de la sensibilidad del individuo ante cambios en dichos factores.

Las variaciones del diámetro de fibras en el periodo de crecimiento de la lana fueron ampliamente utilizadas para estudiar diferencias genéticas en ovinos (Hansford, 1994; Adams *et al.*, 1996 y 1998; Brown *et al.*, 2002b). Estudios preliminares en ovejas Merino de Sierras y Mesetas del norte de la Patagonia argentina (Sacchero y Mueller, 2007) mostraron la forma ahusada de las fibras de las lanas esquiladas preparto. Este patrón característico de variabilidad del diámetro a lo largo de las fibras influye en su calidad textil (Hansford *et al.*, 1985; Oldham *et al.*, 1998; Brown *et al.*, 2002b) y, por consiguiente, en el precio al compararse con lanas esquiladas posparto (SIPYM, 2010).

Si bien el término perfil de diámetro de fibras es más bien reciente (Hansford *et al.*, 1985) los estudios de variación estacional en el diámetro se realizan desde hace sesenta años. Durante este tiempo las técnicas de medición han cambiado radicalmente. Durante muchos años los estudios se basaron en medir el diámetro en momentos puntuales de interés, tal como primavera, verano, otoño e invierno, donde el diámetro medio de fibras se obtenía por los métodos de espectrometría (Jackson y Downes, 1979), microproyección (Laporte y Duga, 1980; García y Joustra, 1966a y 1966b) o Airflow (Chapman y Wheeler, 1963; Williams y Chapman, 1966).

Posteriormente, mediante tecnología láser (*Sirolan Laserscan*®) las variaciones anuales dejaron de estudiarse en base a unos pocos puntos a lo largo de la fibra, pasando a tantos cortes transversales como pudieran hacerse con una guillotina de forma consecutiva, a lo largo de una mecha de lana (Hansford *et al.*, 1985; Brown *et al.*, 2000a y 2000b; Brown y Schlink 2002). Luego, sobre cada corte transversal se realizan mediciones independientes de diámetro. Finalmente, con el conjunto de mediciones de diámetros medios, o parte de él

(Brown *et al.*, 2000b) se construye el perfil de diámetro de fibras del individuo. Esta técnica si bien demanda más trabajo y tiempo que las precedentes describe mejor los cambios del diámetro durante el crecimiento anual de la lana.

Por último, los equipos OFDA2000®, con tecnología de análisis de imágenes, permitieron una nueva innovación, medir diámetros a lo largo de la mecha entera –sin necesidad de corte-, y equidistantes cada 10, 5, 1 mm u otro valor que se elija como predeterminado (Baxter, 2001a y 2001b). Como resultado se generan automáticamente archivos con gran cantidad de información por animal con una manipulación mínima de las mechas de lana.

La forma de analizar los datos también cambió a lo largo del tiempo. La revisión de la bibliografía muestra que la técnica más difundida fue el análisis de varianza. Los primeros estudios se basaron en la comparación de medias de distintas estaciones, por ejemplo García y Joustra (1966a) o en la comparación de medias entre puntos de una misma posición relativa Jackson y Downes (1979). Investigaciones más recientes (Brown *et al.*, 2000a y 2002b) se basaron en la comparación de diversos descriptores univariados del perfil (diámetro medio de fibras, coeficiente de variación del diámetro medio de fibras, coeficiente de variación de diámetros a lo largo de la fibra, diámetro máximo, posición del diámetro máximo, diámetro mínimo, posición del diámetro mínimo, tasa de cambio del diámetro) mediante análisis de varianza. En algunos casos los descriptores fueron obtenidos de perfiles estimados a partir de funciones *spline* cúbicas aplicadas a perfiles reducidos, que incluyen una porción de la información original que varía entre el 10 y 90% (Brown *et al.*, 2000b).

Esta situación motivó la búsqueda de un método alternativo al análisis de los descriptores univariados utilizados normalmente para describir las características de los perfiles, a través del uso de modelos que involucren una mirada integral de la variación del diámetro de fibra. Esto implica el considerar en su conjunto a las mediciones tomadas en secuencia a lo largo de la mecha. Estas mediciones realizadas sobre la misma unidad experimental se denominan “mediciones repetidas”. Si bien se han utilizado desde hace décadas en animales, vegetales y humanos, es más reciente el desarrollo de metodologías estadísticas y computacionales accesibles, para un análisis más eficiente de las mismas.

La evolución de una medición a través del tiempo en ocasiones es complicada para ser estudiada con modelos paramétricos, dado que la rigidez en la estructura de los mismos puede no ser apropiada. Por esta razón ha aumentado el interés por los modelos no paramétricos para analizar mediciones repetidas (Eubank, 1999; Fox, 2000). En este sentido, las regresiones *Spline* penalizadas (*P-Spline*) bajo el enfoque de los modelos mixtos, resultan muy atractivas

y han sido objeto de estudio durante los últimos años (Ruppert *et al.*, 2003; Wu y Zhang, 2006).

Algunos autores prefieren llamar a estos métodos regresiones semiparamétricas, porque consideran que si bien se postulan modelos basados en parámetros y se hacen supuestos de distribución, la forma final de la relación no la determina el modelo sino los datos. En este sentido otros autores (Silverman, 1985; Simonoff, 1996; Eubank, 1999; Fox, 2000) las denominan técnicas de suavizado. La principal ventaja de los suavizados radica en su flexibilidad, es decir en su capacidad de adaptación a los propios datos. Bajo esta óptica, con las regresiones *P-Spline* se puede gozar de los beneficios del suavizado, aprovechando además las ventajas teóricas e inferenciales de los modelos lineales mixtos (Cuesta, 2007).

El análisis de estos modelos puede llevarse a cabo utilizando un programa estadístico que tenga un módulo de análisis de modelos mixtos, construyendo a priori las matrices del modelo asociadas a las componentes aleatorias, y definiendo estructuras de covarianzas adecuadas.

En este trabajo nos proponemos estudiar los efectos del estado fisiológico y la edad sobre el perfil de diámetro de fibras de ovejas Merino bajo un enfoque no paramétrico y utilizando metodología *P-Spline*.

## **4.2 Materiales y métodos**

### *4.2.1 Ubicación y clima*

El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Pilcaniyeu perteneciente al INTA (41° 07' Latitud Sur, 70° 44' Longitud Oeste), ubicado en la localidad de Pilcaniyeu en el NO de la Provincia de Río Negro. Las precipitaciones registradas durante el ensayo fueron 350 mm, un 20,3% mayor que la media histórica, para más información ver Sacchero *et al.* (2010).

### *4.2.2 Animales experimentales y manejo*

Se trabajó sobre un núcleo genético superfino de ovejas Merino (n=200) que fueron clasificadas por la edad (E) como Adultas a las de 3 y 4 años edad y como Viejas a las de 5 y 6 años de edad.

Las ovejas se clasificaron por su estado fisiológico (EF) en dos momentos, al destete de sus corderos, de acuerdo a si destetaron (DTT) o no destetaron corderos (NOD), y por su estado fisiológico a la esquila de acuerdo a si estaban preñadas (PRE) o secas (SEC).

Mediante la combinación de estas clases recién presentadas, se obtienen como resultado los siguientes grupos: DTTPRE, hembras que destetaron corderos y volvieron a quedar preñadas en el servicio, DTTSEC, hembras que destetaron corderos pero no quedaron preñadas en el servicio, NODPRE hembras vacías en el servicio anterior y que por lo tanto no destetaron corderos, pero que quedaron preñadas en el servicio actual y NODSEC, hembras que quedaron vacías en el servicio anterior y por lo tanto no destetaron corderos y que tampoco quedaron preñadas en el servicio actual. Las hembras clasificadas como preñadas pero que no destetaron corderos por abortos, muertes perinatales u otras causas, se excluyeron del análisis.

Las principales prácticas de manejo se realizan en los meses de octubre-noviembre (control de parición diario para identificar los corderos nacidos y vincular a su correspondiente madre), enero (destete, inspección de ubres de las ovejas para codificar aquellas lactantes, secas y las que perdieron su cordero o lo destetaron antes), mayo (servicios por inseminación artificial y repaso con carneros a campo) y septiembre (esquila, toma de muestras individuales e inspección de ubres en hembras para determinar preñez).

Las fechas en que se realizan el servicio y la esquila (preparto) determinan que en un mismo periodo de crecimiento (en una misma mecha) se desarrollen fracciones de dos ciclos reproductivos consecutivos: el final de un ciclo reproductivo al comienzo del periodo de crecimiento de la fibra (ciclo anterior) y el comienzo del ciclo reproductivo siguiente al final del periodo de crecimiento de la fibra (ciclo actual).

#### *4.2.3 Muestreo y mediciones*

Al momento de la esquila se extrajo de cada animal, aproximadamente 120 g de lana de la zona del costillar que representó un periodo de crecimiento de 375 días (entre esquilas). El análisis de las muestras individuales se realizó utilizando un equipo OFDA 2000. Este equipo realiza mediciones de diámetros sobre 100 a 150 fibras en secciones transversales de mechas de lana cada 5 milímetros hasta recorrer toda su longitud. Por lo tanto, la cantidad de mediciones depende del largo de la mecha. Por ejemplo para una mecha de 80 mm de largo se obtiene un conjunto de 17 mediciones repetidas de diámetros medios a lo largo de la mecha. Con los datos correspondientes a cada mecha se obtiene una secuencia de mediciones de fibra a través del tiempo, ya que se trata del período anual de crecimiento de la fibra. Dicha secuencia de mediciones se denomina perfil de diámetro de fibra.

El extremo inferior de la mecha (base de la mecha) representa el diámetro de fibra en la esquila actual y el extremo superior (punta de la mecha) es el diámetro de fibra que tenía la

mecha en la esquila del año anterior. Las diferencias en largo de mecha entre animales implican que, por ejemplo, para un animal la medición a 10 mm de la punta de la mecha representa el crecimiento a los 30 días, mientras que para otro animal puede representar el de 50 días.

Luego, a los efectos de hacer comparables los perfiles de manera tal que las mediciones se correspondan con el mismo momento, surgió la necesidad de aplicar una transformación a los datos (no a los diámetros sino a la ubicación en la mecha). Esta transformación se realizó con el objetivo de hacer los perfiles comparables en el tiempo y tiene implícito el supuesto de velocidad de crecimiento común para todos los animales. La misma consistió en modificar la distancia real a la punta de la mecha transformándola en porcentaje de crecimiento relativo o distancia relativa a la punta, donde la punta corresponde al 0% y la base al 100%. Es decir, para cada animal se obtuvo un vector de datos de diámetro tomados a determinadas *distancias relativas* a la punta de la mecha. Por ejemplo, un animal que tiene once mediciones (50 mm. de largo de mecha) tendría valores para distancias relativas de 0-10-20-...-100%, mientras que otro con catorce mediciones (65 mm. de largo de mecha) tendría valores para 0-7,7-15,4-...-100%.

Básicamente, se desea comparar curvas de diámetros que responden a diferentes criterios de variación. Dicha comparación se lleva a cabo trabajando, tal como se expresó en el párrafo anterior, con los perfiles de diámetro de la fibra considerando la *distancia relativa* a la punta de la mecha. Estos datos, dadas las diferentes longitudes, tienen la característica de ser no sincronizados.

El hecho de que se trate de datos no sincronizados impide el cálculo de perfiles promedio para los distintos niveles de los factores evaluados. Una forma de subsanar este problema fue obtener mediciones sincronizadas a través de la interpolación de valores propuesta por G. Mata (comunicación personal, 2001) desarrollada especialmente para los perfiles del OFDA 2000. Mediante dicho método los datos interpolados que se obtienen, además de sincronizados, son equiespaciados, disponiéndose de igual número de datos para cada perfil individual.

#### 4.2.4 Análisis estadístico

Los datos originales de los PDF se analizaron mediante modelos paramétricos polinómicos (no presentados aquí) y semiparamétricos (regresiones *P-Spline*), con los cuales

se modelaron y compararon las distintas curvas de los niveles de los factores E y EF, arribándose a resultados similares con ambos métodos.

La regresión *Spline* es una regresión por partes, donde cada una de ellas corresponde a un intervalo del campo de variación de la variable explicativa. Los valores de la variable que determinan cada intervalo se denominan nodos. En cada parte se ajusta un modelo de regresión polinómico que está unido en los extremos a los modelos de los intervalos adyacentes. La calidad del ajuste del modelo de regresión *Spline* depende de la cantidad de partes que se consideran y de su amplitud. Una forma de subsanar esta dependencia y reducir la rugosidad del modelo ajustado es restringir la influencia de cada nodo, mediante restricciones para las estimaciones de los parámetros asociados a las funciones de bases truncadas. A tal efecto en este trabajo se emplean los modelos *Spline Penalizados (P-Spline)*, ajustados bajo el enfoque de modelos mixtos (Ruppert *et al.*, 2003). Este enfoque facilita la determinación del parámetro de penalización, ya que el mismo queda determinado en función de las estimaciones de las componentes de variancias respectivas. Los modelos *P-Spline* empleados fueron de tipo cuadrático, considerando nueve nodos equiespaciados a distancias relativas de la punta de la mecha de 10, 20, 30... y 90%.

En primer término se definió la estructura de covarianzas de la variable respuesta, seleccionada entre modelos alternativos. Esta estructura de covarianzas supone un modelo de correlación exponencial para los errores aleatorios (dada la naturaleza de mediciones repetidas para las observaciones de un mismo perfil - matriz R) y una estructura Toeplitz de orden 1 para los efectos aleatorios propios de los nodos. En el Anexo se presenta el procedimiento realizado para la elección de la estructura de covarianza de los errores aleatorios y de la estructura de covarianza de los efectos aleatorios así como el análisis de residuales correspondiente.

Luego se procedió a realizar las pruebas de hipótesis respecto de la parte estructural o sistemática del modelo: los efectos de interés (efectos propios del diseño, Edad y Estado Fisiológico) y los considerados fijos como parte del modelo *P-Spline*. Estas hipótesis se probaron a través de las pruebas de cociente de verosimilitud, empleando el método de estimación de máxima verosimilitud (ML) dado que las hipótesis involucran parámetros de la estructura fija.

Por otra parte y a los efectos de obtener curvas promedio observadas para los distintos niveles de los factores (edad, estado fisiológico), y combinación de niveles, se trabajó con

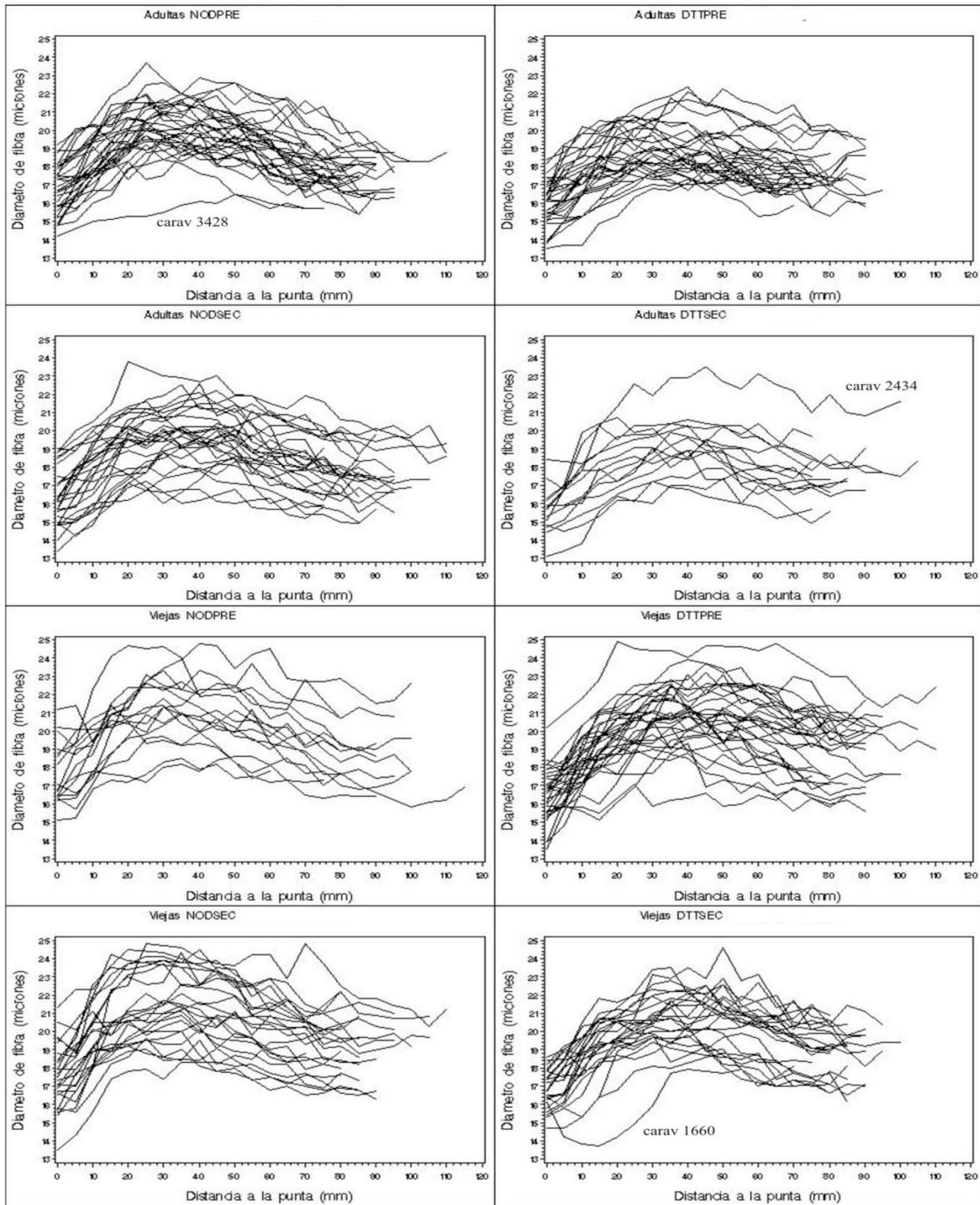
perfiles con estimaciones interpoladas de diámetros para obtener mediciones sincronizadas y en igual cantidad en cada animal.

Todas las pruebas de hipótesis se efectuaron considerando un nivel de significación del 5%. Para los análisis se emplearon procedimientos del paquete estadístico SAS (2009): PROC IML para crear las funciones de base troncada asociadas a los nodos (afectados a la parte aleatoria del modelo) y PROC MIXED para resolver el modelo mixto.

### **4.3 Resultados**

#### *4.3.1 Análisis descriptivo de los perfiles de diámetro de fibra*

En la Figura 8 se presentan los perfiles individuales según edades y estados fisiológicos, conformados por las mediciones originales de diámetros de fibra, con sus respectivas distancias reales a la punta de la mecha. Los gráficos permiten ver la gran variabilidad de respuesta individual tanto en diámetros como en crecimiento en largo, presentando cada perfil, por ende, diferente cantidad de mediciones (Tabla 10). La variación dentro de majada es resultado de la genética o la habilidad inherente de cada animal para producir lana (Hansford, 1997). Se observa además que la forma de los perfiles, en general, no es lineal. Estos perfiles no se pueden comparar entre sí, más que a través de sus descriptores univariados tal como diámetro promedio, diámetro máximo, diámetro mínimo, tasa de cambio del diámetro, entre otros. Esto se debe a que la distancia a la punta de la mecha se representa en términos absolutos (no relativos), por lo cual las mediciones no corresponden a iguales momentos en el tiempo.



**Figura 8.** Perfiles de diámetro de fibra individuales considerando distancias reales a la punta de la mecha según edad y estado fisiológico. Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad; NODPRE, hembras que no destetaron corderos del año previo pero que quedaron preñadas en el último servicio; NODSEC, hembras que no destetaron corderos del año previo ni quedaron preñadas en el último servicio; DTTPRE, hembras que destetaron corderos del año previo y quedaron preñadas en el último servicio; DTTSEC, hembras que destetaron corderos del año previo pero no quedaron preñadas en el último servicio. Los perfiles indicados con número de caravana se excluyeron del análisis.

Por otro lado, en base a lo observado, y tal como se indica en la Figura 8 con número de caravana, se decidió no incluir en los análisis por comportamiento atípico a tres de los 200 animales.

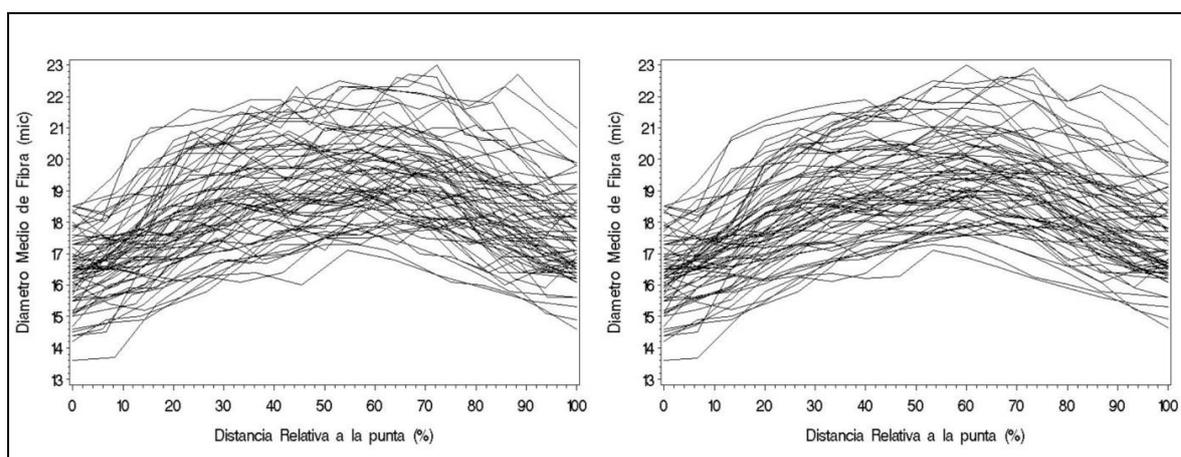
**Tabla 10:** Cantidades mínimas y máximas de mediciones de diámetros realizadas y número de animales, según los distintos estados fisiológicos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Número de animales</i>	<i>Número de mediciones por animal</i>	
		mínimo	máximo
DTTPRE	61	13	23
DTTSEC	36	15	22
NODPRE	48	13	24
NODSEC	52	12	23

Referencias: DTTPRE, hembras que destetaron corderos del año previo y quedaron preñadas en el último servicio; DTTSEC, hembras que destetaron corderos del año previo pero no quedaron preñadas en el último servicio. NODPRE, hembras que no destetaron corderos del año previo pero que quedaron preñadas en el último servicio; NODSEC, hembras que no destetaron corderos del año previo ni quedaron preñadas en el último servicio.

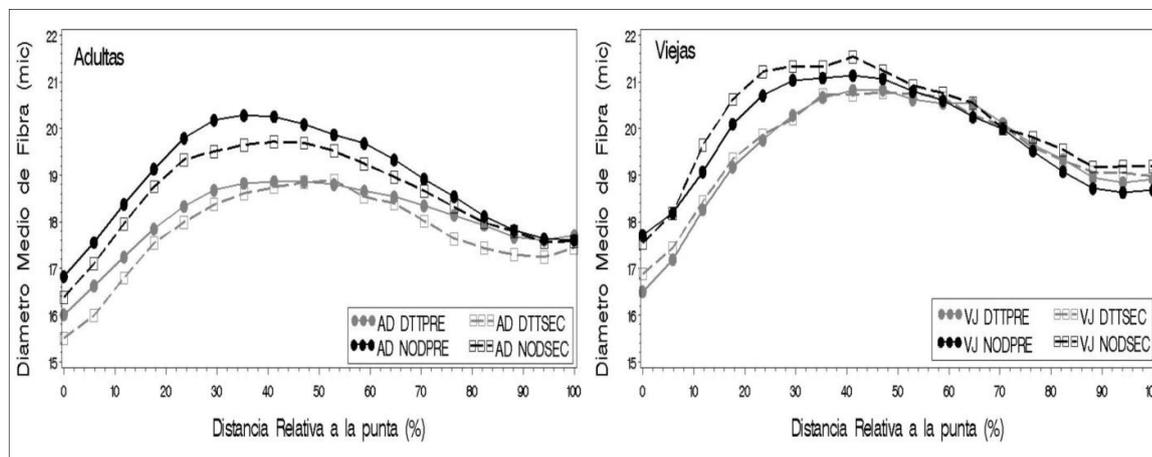
En la parte izquierda de la Figura 9 se presenta un ejemplo de perfiles individuales considerando la distancia a la punta de la mecha en términos relativos. Cabe recordar que en este caso de distancias relativas, los datos no son sincronizados debido a que el número de mediciones por animal, al igual que para los datos con distancias reales, varía de animal en animal.

En la parte derecha de la Figura 9 se presenta un ejemplo de perfiles individuales en base a datos interpolados. Los datos interpolados fueron utilizados para determinar la estructura de covariancia adecuada, que resultó ser autorregresiva de orden uno.



**Figura 9.** Ejemplo de perfiles de diámetro de fibra individuales con distancias relativas a la punta de la mecha considerando diámetros originales (izq.) y datos interpolados (der.) - Ovejas AdultasDTTPRE.

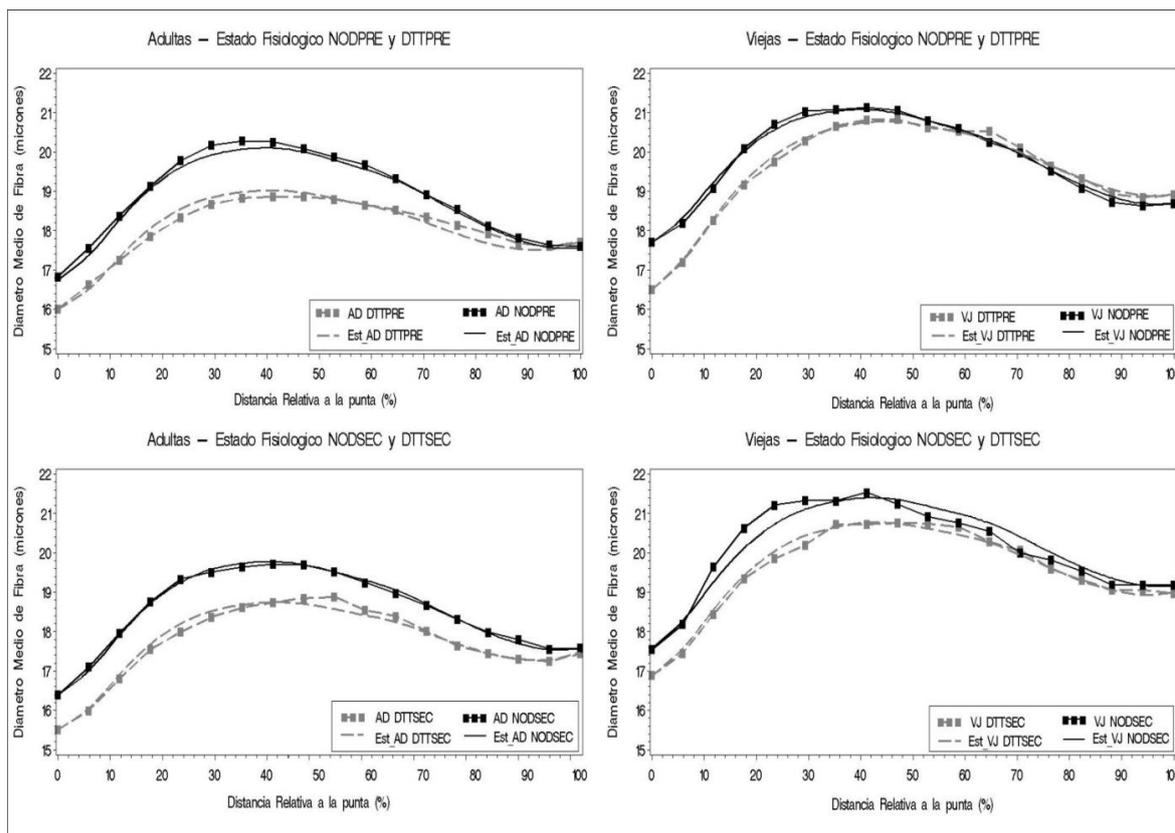
En la Figura 10 se muestran, para cada edad, los perfiles promedio a partir de datos interpolados para los cuatro niveles del factor estado fisiológico. Se puede apreciar que la mayor separación se observa entre los perfiles promedios de los grupos NOD con los correspondientes a los grupos DTT.



**Figura 10.** Perfiles de diámetro de fibra promedio con datos interpolados de los distintos estados fisiológicos para hembras Adultas (izquierda) y Viejas (derecha). Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad; DTTPRE, hembras que destetaron corderos del año previo y quedaron preñadas en el último servicio; DTTSEC, hembras que destetaron corderos del año previo pero no quedaron preñadas en el último servicio; NODPRE, hembras que no destetaron corderos del año previo pero que quedaron preñadas en el último servicio y NODSEC, hembras que no destetaron corderos del año previo ni quedaron preñadas en el último servicio.

#### 4.3.2 Ajuste de curvas estimadas y curvas promedio

En la Figura 11 se presentan las curvas estimadas mediante las regresiones *P-Spline* y perfiles promedio observados (a partir de datos interpolados) para cada uno de los estados fisiológicos por edades. En los mismos se observa, en general, un buen ajuste a través de los modelos propuestos.



**Figura 11.** Perfiles promedios observados (con marcadores) y estimados a través de regresiones *P-Spline* (sin marcadores), para cada uno de los ocho grupos que surgen de combinar los niveles del factor edad y estado fisiológico. Referencias: AD y Est\_AD, curva de valores observados y estimados para hembras de 3 y 4 años de edad, respectivamente; VJ y Est\_VJ, curva de valores observados y estimados para hembras de 5 y 6 años de edad, respectivamente; NODPRE, hembras que no destetaron corderos del año previo pero que quedaron preñadas en el último servicio; NODSEC, hembras que no destetaron corderos del año previo ni quedaron preñadas en el último servicio; DTPRE, hembras que destetaron corderos del año previo y quedaron preñadas en el último servicio; DTTSEC, hembras que destetaron corderos del año previo pero no quedaron preñadas en el último servicio

#### 4.3.3 Pruebas de hipótesis sobre los efectos estudiados

Los resultados generales de las pruebas de hipótesis de paralelismo y coincidencia sobre los efectos fijos se resumen en la Tabla 11.

Como primera hipótesis se planteó la nulidad de los efectos correspondientes a los términos que contienen la interacción entre los factores E y EF (término de interacción de factores propiamente dicho, más respectivos términos en el modelo *P-Spline*). Para ello se efectuó una prueba de cociente de verosimilitud entre el modelo completo y el reducido (sin los términos recién mencionados). Esta prueba indicó una interacción no significativa ( $p < 0,3986$ ), lo cual implica que pueden realizarse las pruebas de hipótesis para cada uno de los factores por separado.

**Tabla 11:** P-valores correspondientes a las pruebas de hipótesis relativas a los efectos evaluados.

<i>Efecto</i>	<i>Prueba de hipótesis</i>	
	Paralelismo	Coincidencia
Edad	0,0024	
Estado Fisiológico	0,0132	
<i>DTT vs. NOD</i>	<i>0,0012</i>	
<i>PRE vs. SEC</i>	<i>0,7128</i>	<i>0,4911</i>
E*EF	0,3986	

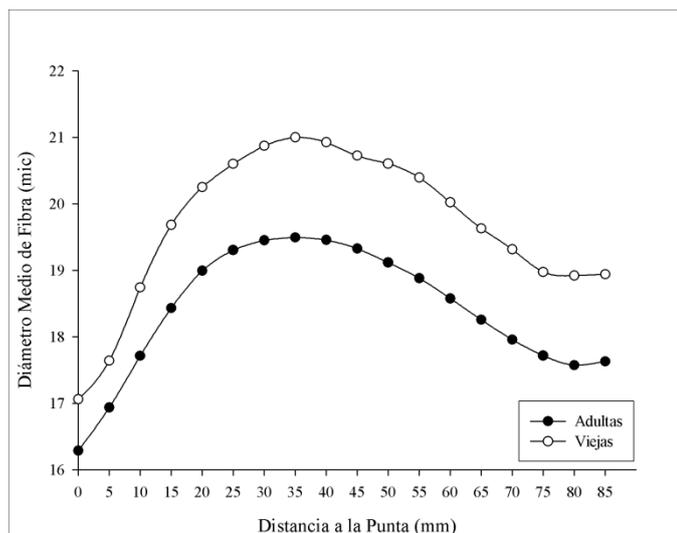
Referencias: Edad (E), estado fisiológico (EF), Hembras que destetaron corderos (DTT), hembras que no destetaron corderos (NOD), hembras preñadas a la esquila (PRE), hembras secas a la esquila (SEC).

En una primera instancia, y para cada factor, se estudió la evolución del diámetro de fibra en el tiempo a través de la hipótesis de nulidad del efecto correspondiente a la interacción (hipótesis de paralelismo) relativa a cada factor con la distancia relativa (en forma lineal y cuadrática). De no existir interacción significativa, se procede a la prueba de hipótesis de coincidencia de curvas poblacionales correspondientes a los respectivos niveles de cada factor.

#### *4.3.3.1 Efecto de la Edad*

El valor del estadístico de la prueba de paralelismo resultó significativo ( $p < 0,0024$ ), indicando que no existe paralelismo entre las curvas de los distintos niveles del factor edad. Como se observa en la Figura 12 al comienzo del crecimiento, desde la punta de la fibra hasta el diámetro máximo, el perfil de las hembras Viejas tiene un aumento más marcado del diámetro, o sea que engrosan sus fibras a una mayor tasa. Sin embargo, se observa también que luego de ese punto ambos perfiles descienden en forma paralela. Estos resultados indicarían que las hembras Adultas y Viejas tienen una diferente respuesta al ambiente en los momentos de mayor oferta forrajera.

Resultados similares mostró el estudio a través de descriptores univariados como la tasa inicial de cambio del diámetro (TCD1) y la tasa final de cambio del diámetro (TCD2) con diferencias significativas entre edades para la primera y no significativas entre edades para la segunda (Sacchero *et al.*, 2011). En el mismo trabajo se encontraron diferencias de  $1,3 \mu\text{m}$  (significativas) en diámetro medio de fibras entre ambos grupos etarios.



**Figura 12:** Perfiles promedios de diámetro de fibras según los niveles del factor edad. Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad.

#### 4.3.3.2 Efecto del Estado Fisiológico

Relativo a la prueba de paralelismo antes mencionada, el valor del estadístico para el factor EF también resultó significativo ( $p < 0,0132$ ), indicando que las curvas correspondientes a los distintos niveles del factor estado fisiológico no son todas paralelas entre sí.

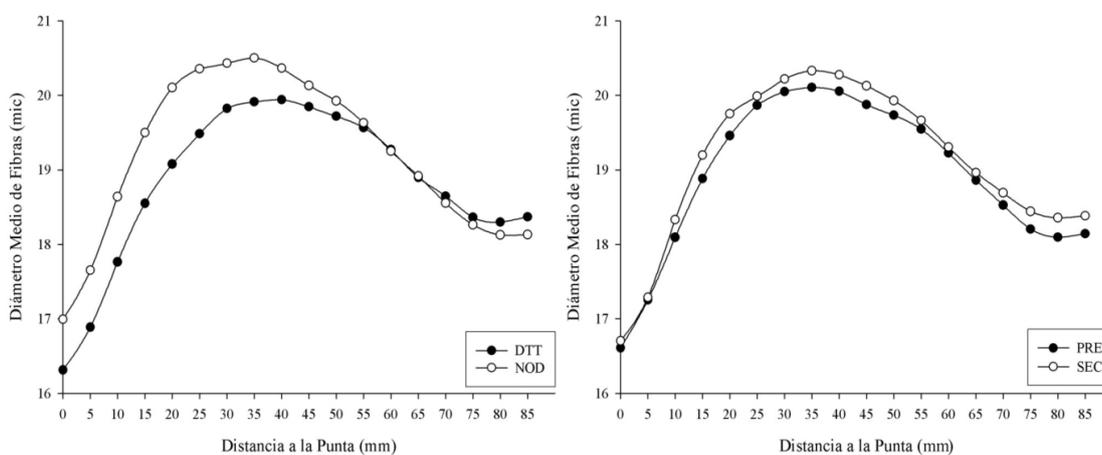
Dada esta interacción significativa y la estructura del factor EF, se realizaron dos contrastes *a priori* y de interés biológico. Por un lado se compararon las hembras que no gestaron ni amantaron corderos *versus* hembras que amantaron corderos hasta el destete (grupos NOD *vs.* DTT) y por el otro, se compararon hembras preñadas *versus* vacías a la esquila (grupos PRE *vs.* SEC).

El primero de los contrastes planteados resultó significativo ( $p < 0,0012$ ), es decir, las curvas NOD y DTT no son paralelas. En la Figura 13 (izq.) se observa que desde la punta de la mecha hasta el diámetro máximo, las hembras NOD tienen un aumento más marcado del diámetro que las hembras DTT, un comportamiento similar a lo que ocurre para los perfiles de hembras de distintas edades. Luego de ese punto ambos perfiles presentan un descenso solapado. Resultados similares encontraron Sacchero *et al.* (2011) con diferencias significativas entre hembras NOD y DTT para los descriptores diámetro mínimo inicial, diámetro máximo y tasa inicial de cambio del diámetro pero no para el diámetro mínimo final ni para tasa final de cambio del diámetro. En el mismo trabajo tampoco se encontraron diferencias significativas debidas al estado fisiológico para diámetro medio de fibras.

La falta de paralelismo entre los perfiles de ambos grupos estaría determinado por las diferencias en requerimientos nutricionales entre hembras que han gestado y amamantado hasta el destete *versus* hembras vacías. Ambos grupos al haber sido manejados en conjunto - misma disponibilidad de forraje- permitiría a las hembras vacías un mayor aumento del diámetro en la primera fase del crecimiento, pero que, luego del destete cuando las diferencias en requerimientos nutricionales desaparecen, sus diámetros se acercan gradualmente.

Pasando al segundo de los contrastes *a priori* planteados, la prueba de paralelismo entre las curvas PRE y SEC resultó no significativa ( $p < 0,7128$ ), es decir, las mismas resultaron paralelas. Finalmente, y relativa a la hipótesis de coincidencia, la misma resultó no significativa ( $p < 0,4911$ ), no existe efecto significativo del estado fisiológico a la esquila. Luego, las curvas de los grupos PRE y SEC además de paralelas son coincidentes (Figura 13 – Der.).

Estos resultados concuerdan con resultados anteriores (Paccapelo *et al.*, 2009 y Sacchero *et al.*, 2011) donde no se observó ningún efecto de la gestación temprana sobre las características del perfil de diámetro de fibra en ovejas Merino.



**Figura 13.** Perfiles promedios de Diámetro de Fibras según los niveles del factor estado fisiológico: grupos NOD - DTT (izquierda) y grupos PRE - SEC (derecha). Referencias: NOD, hembras que no destetaron corderos; DTT, hembras que destetaron corderos; SEC, hembras vacías a la esquila; PRE, hembras preñadas a la esquila.

#### 4.4 Conclusiones

A medida que suceden las estaciones y cambia la disponibilidad de forraje, y por lo tanto la disponibilidad de nutrientes específicos a nivel de los folículos de lana, se modifica el

crecimiento en diámetro de la fibra. Esta modificación varía entre individuos según la edad y el estado fisiológico.

Las hembras Viejas producen fibras más gruesas y se engrosan a una tasa mayor que las hembras Adultas en los momentos de alta disponibilidad de forraje. Por otro lado, los mayores requerimientos nutricionales asociados al último tercio de gestación y lactancia condicionan el crecimiento en diámetro de las fibras de las hembras resultando en un perfil con valores de diámetro por debajo de las hembras vacías. Sin embargo, la gestación temprana no produce ninguna diferencia en la respuesta del diámetro de fibra respecto a hembras no gestantes.

El efecto del estado fisiológico sobre el diámetro de fibra se manifiesta específicamente en el crecimiento que se produce durante el último tercio de gestación y lactancia, pero no influye sobre el crecimiento ulterior de la fibra.

El estudio de la variación del diámetro de fibras a través del año, mediante regresiones *P-Spline* permitió detectar diferencias que pueden pasar desapercibidas cuando se evalúan a través de los descriptores univariados típicos como el Diámetro Medio de Fibras.

Las regresiones *P-Spline* representan un método complementario, útil y válido para el estudio de los Perfiles de Diámetro de Fibra en lana. Su principal aporte es el brindar una visión integral en el estudio de la variación del diámetro en un periodo de tiempo, complementando con los aportes de los descriptores univariados en el estudio en momentos puntuales del crecimiento.



## CAPITULO 5

### DISCUSIÓN GENERAL DE HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES

#### 5.1 Discusión de primera hipótesis

La hipótesis 1 enuncia que: *Las características y formas de los perfiles de diámetro de fibra permiten detectar diferencias entre animales de distintos grupos genéticos, edades y estados fisiológicos.*

La hipótesis sobre la utilidad de las características y formas de los perfiles de diámetro de fibra para detectar diferencias entre animales de distintos grupos genéticos, edades y estados fisiológicos se cumplió parcialmente. Pudieron ser demostradas las diferencias en las características de los PDF para animales de distintas líneas genéticas y tanto las características como las formas de los PDF mediante descriptores univariados y mediante regresiones *Spline* para animales de distintas edades y estados fisiológicos.

##### 5.1.1 Grupos genéticos

Como resultado de este estudio se observó que las líneas genéticas Merino Superfina y Control (fina), reaccionaron de manera similar frente a las variaciones ambientales que se suceden a lo largo del año, tal como lo harían curvas paralelas y manteniendo la diferencia de diámetro medio que existe actualmente entre ambas líneas genéticas, cercano a los 2,5 micrones. La evolución del perfil de ambas líneas genéticas a lo largo del año sería similar al de curvas paralelas dadas las diferencias de diámetro en la punta, medio y base de la mecha (Min1, MAX y Min2, 2,3, 2,9 y 2,7 micrones respectivamente).

Los resultados en este sentido concuerdan con los hallazgos sobre ausencia de interacción genotipo\*ambiente para diámetro medio de fibra encontrados previamente en estas majadas. Por otra parte, los resultados encontrados aquí corroboran que en Sierras y Mesetas patagónicas, las lanas superfina se ven afectadas por el ambiente de manera similar a lo que ocurre en las lanas finas tradicionalmente producidas. No hay evidencias de una mayor sensibilidad de los animales superfinos que perjudique la calidad textil de su lana.

En general, los descriptores univariados que caracterizan un perfil de diámetro de fibra no aportan información adicional sustancial, a la proporcionada por las mediciones típicas como diámetro medio de fibra, cuando se pretende comparar, como en nuestro caso, líneas

genéticas (Merino) dentro de ambientes. La excepción, quizás, sean las tasas de cambio del diámetro inicial y final.

Las líneas genéticas tuvieron similares coeficientes de variación del diámetro *a lo largo de fibras*, demostrando que reaccionaron del mismo modo frente a las variaciones ambientales. El promedio general observado para el coeficiente de variación del diámetro a lo largo de fibras es levemente superior a lo reportado por otros autores (Brown *et al.*, 2002b; Jackson y Downes, 1979; Peterson *et al.*, 1998) para majadas Merino evidenciando la marcada estacionalidad de estos ambientes.

Con respecto a las tasas de cambio, la TCD1 que refleja el crecimiento de la fibra desde el final del invierno hasta mediados de la estación estival, con condiciones cambiando a favorables en cuanto a temperaturas y a disponibilidad de forraje que ocurren normalmente en este ambiente a partir del momento de la parición. Durante ese periodo de tiempo los animales engrosaron de manera sostenida el diámetro de fibra hasta llegar a su máximo anual. La tasa a la cual se engrosaron las fibras fue afectada significativamente por la línea genética. La línea Control tuvo tasas promedio de aumento del diámetro mayores que la línea Superfina.

Por su parte la TCD2 que representa el crecimiento de la fibra ante situaciones ambientales contrapuestas a las anteriores, con afinamiento sostenido del diámetro de fibra hasta el momento de la esquila debido a la disminución paulatina en la disponibilidad de forraje. Los resultados para la TCD2 sugerirían que la línea genética superfina tuvo, ante las condiciones adversas de un año seco, una menor respuesta al ambiente, un comportamiento que implicaría una adaptación favorable de este genotipo. Más aun cuando podría incidir directamente sobre la calidad textil de la lana, particularmente sobre la resistencia a la tracción, un parámetro de gran importancia económica para la industria lanera al afectar propiedades del procesamiento como el cardado, las pérdidas en el peinado y la rotura de fibras durante el hilado.

Este comportamiento de la línea genética superfina es importante para quienes pretenden producir lanas más finas ya que, aun en condiciones adversas, cada vez más recurrentes en Patagonia, no tuvo una caída abrupta del diámetro de fibra, lo cual podría afectar negativamente sobre la resistencia a la tracción y, evidenciando su capacidad de adaptación al ambiente. Sin embargo sería necesario contar con más información sobre la interacción genotipo\*ambiente para confirmar este comportamiento de las líneas genéticas superfinas. Otros investigadores (Hynd, 1989 y Brown *et al.* 2002b) también encontraron en ovinos Merino de lanas finas menores disminuciones del diámetro con disminuciones en la alimentación que Merino de lanas medias.

En resumen, la línea genética afectó las tasas con las cuales aumentó o disminuyó el diámetro de fibra. Durante la primera fase del crecimiento de la mecha (fase de engrosamiento) cuando la disponibilidad de forraje en cantidad y calidad en estos ambientes no es limitante debido a la alta tasa de crecimiento de los pastizales (Celso Giraudo, comunicación personal), la línea Superfina tuvo menor tasa de cambio del diámetro que la línea Control, mientras que en la segunda fase de crecimiento (fase de afinamiento), con una disponibilidad de forraje cada vez más restringida a medida que pasa el tiempo (Giraudo y Somlo, 1995), la línea Superfina disminuyó su diámetro a una tasa similar que la majada Control en el año Húmedo pero a una tasa menor que la majada Control en el año Seco.

### 5.1.2 Edades

A través de los descriptores univariados y las regresiones *Spline* penalizadas se detectaron diferencias entre los perfiles de diámetro de fibra de animales de distintas edades.

Con respecto a los descriptores univariados del perfil, las variables DMF, MAX y DMIN2 mostraron interacciones significativas entre edad y línea genética (G\*E) y entre edad y periodo (E\*P). Los resultados encontrados mostraron que los diámetros se incrementaron con la edad en la línea Superfina, mientras que no se observaron diferencias en la línea Control. Respecto a la interacción con el factor Periodo, la apertura de la misma mostró que las diferencias significativas entre ovejas Viejas y Adultas del periodo Húmedo, se tornan no significativas en el periodo Seco.

El estudio de las formas de los perfiles de diferentes edades a través de las regresiones *spline* es más determinante. Las pruebas realizadas demostraron que no existe paralelismo entre los perfiles de ovejas Adultas y Viejas, es decir la evolución del diámetro de fibra varía de acuerdo a la edad. Observando los perfiles se desprende que el perfil de las hembras Viejas tiene en la primera fase de crecimiento (de engrosamiento) un aumento más marcado que el de las hembras Adultas, o sea que engrosan sus fibras a una mayor tasa. También se observa que luego de ese punto ambos perfiles descienden en forma paralela. Estos resultados indicarían que las hembras Adultas y Viejas no responden de igual manera a las condiciones ambientales imperantes en dicha fase donde coinciden situaciones favorables de fotoperiodo, temperaturas y oferta forrajera.

Estos resultados coinciden con los encontrados a través de descriptores univariados como la tasa inicial de cambio del diámetro y la tasa final de cambio del diámetro con diferencias significativas entre edades para la primera (TCD1) y no significativas entre edades para la segunda (TCD2).

La información recabada permite ver la complementariedad que se puede lograr en el análisis de PDF mediante el uso de las regresiones *Spline* y los descriptores univariados. Las primeras para determinar si hay diferencias en la evolución del diámetro y luego en caso afirmativo, mediante descriptores univariados avanzar en el análisis para determinar en qué parte del perfil de producen las diferencias.

### 5.1.3 Estados fisiológicos

Igual que lo ocurrido para el factor Edad, se detectaron diferencias entre los perfiles de diámetro de fibra de ovejas de distintos estados fisiológicos tanto a través de los descriptores univariados como de las regresiones *Spline* penalizadas. El efecto del estado fisiológico sobre el crecimiento en diámetro de las fibras se manifiesta a partir del último tercio de gestación y no es permanente ya que tiende a reducirse paulatinamente luego del pico de lactancia o el destete hasta desaparecer, al equipararse los requerimientos nutricionales. Sin embargo, la gestación temprana no afectó el crecimiento de las fibras en diámetro.

El estado fisiológico afectó significativamente a los descriptores univariados del perfil de diámetro de fibra contemporáneos con la gestación avanzada y lactancia tales como Min1, MAX, TCD1 y PRMAX pero no el de las variables contemporáneas con la gestación temprana, en la base de la mecha, como Min2 y TCD2, al compararlos con los diámetros y las tasas de las hembras secas. La máxima diferencia en los diámetros de fibra entre ovejas gestantes y no gestantes se produjo entre el 12,5 y el 25% del crecimiento, el cual coincidiría con el parto y lactancia. Del cambio en la posición relativa del diámetro máximo (PRMAX) entre estados fisiológicos se deduce que las hembras preñadas y lactantes tardaron cerca de dos meses más que las hembras secas en alcanzar su diámetro máximo. Este retraso estaría relacionado a la diferencia entre ambos grupos en disponibilidad de nutrientes para funciones específicas, velocidad de crecimiento de fibras y requerimientos nutricionales.

El estudio mediante regresiones *spline* demostró que las formas de los PDF de ovejas en diferentes estados fisiológicos no son similares entre sí.

Las pruebas realizadas demostraron una evolución distinta (falta de paralelismo) entre los perfiles de ovejas secas y ovejas que gestaron y amamantaron una cría hasta el destete. Similarmente a lo que ocurre con el factor Edad, se observa que el perfil de ovejas secas tiene durante la fase de engrosamiento (hasta el diámetro máximo) un aumento más marcado del diámetro que el de las hembras gestantes-lactantes. El aumento sustancial de los requerimientos nutricionales relacionados al último tercio de gestación es casi el doble del

requerimiento de un animal en mantenimiento y resulta en valores promedios menores de los diámetros de fibras al compararlo con el de hembras no gestantes. Ambos grupos al haber sido manejados en conjunto y por lo tanto con la misma disponibilidad de forraje, indicaría que las hembras vacías destinarían al crecimiento de fibras una mayor proporción de nutrientes, resultando en un mayor aumento del diámetro de fibras, que los que destinan o tienen disponibles para el crecimiento de fibras las hembras en gestación y lactancia. Luego del destete cuando las diferencias en requerimientos nutricionales entre dichas categorías desaparecen, sus diámetros se acercan gradualmente presentando ambos perfiles un descenso solapado.

Por otra parte, los perfiles de hembras en gestación temprana y secas resultaron paralelos y coincidentes, en concordancia con lo hallado mediante descriptores univariados (Sacchero *et al.*, 2011) y en borregas de primer servicio (Paccapelo *et al.*, 2009).

Para el estado fisiológico también se advierte la complementariedad entre las regresiones *Spline* y los descriptores univariados. Para el caso del contraste entre ovejas secas y ovejas gestantes-lactantes, mediante regresiones *Spline* se demostró la distinta evolución entre ambos grupos. Luego, el análisis mediante descriptores univariados (diferencias significativas en Min1, MAX, TCD1 y PRMAX, y diferencias no significativas en Min2 ni TCD2) permitieron demostrar puntualmente en que partes del perfil se hallaban las diferencias. Para el caso del otro contraste, entre hembras en prestación temprana y hembras secas, el hecho de resultar en perfiles paralelos y coincidentes anticipaba la falta de diferencias significativas en todos los descriptores univariados y probablemente lo innecesario o vano del análisis una vez establecida dicha relación entre los perfiles.

Esta información puede ser útil para los casos en que sea posible un manejo nutricional diferencial de las ovejas secas y preñadas. El pastoreo diferencial de ovejas, a partir de la esquila, a una carga animal acorde al estado fisiológico, reduciría la variación del diámetro a lo largo de la mecha, mejorando la calidad de lana (Peterson, 2000) permitiendo un uso más eficiente de los recursos forrajeros e incluso una mayor producción de lana por hectárea. El manejo de la oferta de forraje en primavera es una herramienta útil para controlar algunas características de la lana, aumentar la utilización de los pastizales y la producción total de lana por unidad de superficie.

## 5. 2 Discusión de segunda hipótesis

La hipótesis 2 enuncia que: *Las regresiones P-spline constituyen un método de análisis alternativo a los descriptores univariados, para estudiar de manera integral la variación del diámetro de fibra de lana a lo largo del periodo de crecimiento.*

Los resultados encontrados en este trabajo llevan a opinar que los dos métodos de estudio del perfil de diámetro de fibra, a través de descriptores univariados y de regresiones *spline* no sean alternativos sino complementarios por lo que la hipótesis no se cumplió.

En base a lo discutido en los puntos 5.1.2 y 5.1.3 se considera que para un análisis integral de la variación del diámetro de fibra a lo largo del crecimiento las regresiones *Spline* pueden utilizarse para la comparación inicial de los perfiles. En el caso de que los perfiles resulten no paralelos implica que se requiere un análisis más exhaustivo, por ejemplo, mediante descriptores univariados para poder establecer en que parte o partes del crecimiento se produjeron las diferencias. Si los perfiles resultaran paralelos pero no coincidentes puede concluirse que reaccionaron de igual modo al ambiente pero puede interesar cual es la diferencia entre ambas curvas o por último pueden ser los perfiles paralelos y coincidentes para lo cual no tiene sentido avanzar en un análisis mediante descriptores univariados.

Por otra parte, a pesar de tener las hembras gestantes y secas perfiles significativamente distintos, no se vio afectada la principal característica de la lana, el diámetro medio de la fibra. O sea que el estudio de la variación del diámetro mediante regresiones *P-Spline* permitió detectar diferencias que pasan desapercibidas cuando se evalúan a través esa característica.

Al menos para las lanas preparto de la región de Sierras y Mesetas patagónicas las tasas de cambio del diámetro (TCD1 y TCD2) pueden ser una simplificación eficaz de todo el periodo de crecimiento en dos únicos parámetros.

Por otra parte, a pesar de tener las hembras gestantes y secas perfiles significativamente distintos, no se vio afectada la principal característica de la lana, el diámetro medio de la fibra. Por lo tanto, el estudio de la variación del diámetro mediante regresiones *P-Spline* permitió detectar diferencias que pasan desapercibidas cuando se evalúan a través de las mediciones tradicionales.

Las regresiones *P-Spline* representan un método complementario, útil y válido para el estudio de los perfiles de diámetro de fibra en lana al aportar una visión integral de la variación interanual del diámetro.

### 5.3 Conclusiones generales

En su carácter de visión *ex post*, los Perfiles de Diámetro de Fibra proveen una retrospectiva detallada del crecimiento de la lana. Como tal tienen un uso muy versátil como herramienta de investigación en biología de la lana y como herramienta para el monitoreo del efecto de prácticas de manejo sobre la producción de lana.

A través de la información que proveen los Perfiles de Diámetro de Fibra se pudo comparar la respuesta en diámetro de fibras de líneas genéticas Merino que producen lanas finas y superfinas. Como resultado de este estudio se observó que las líneas genéticas reaccionaron de manera similar frente a las variaciones ambientales que se suceden a lo largo del año, tal como lo harían curvas paralelas y manteniendo la diferencia de diámetro medio que existe actualmente entre ambas líneas genéticas, de aproximadamente 2,5 micrones. En este sentido, los resultados de esta tesis concuerdan con los hallazgos sobre ausencia de interacción genotipo ambiente para diámetro medio de fibra encontrados previamente en estas majadas por Mueller *et al* (2005a). Los resultados corroboran que en ambientes con períodos climáticos muy fluctuantes y sistemas de producción extensivos las lanas superfinas se ven afectadas por el ambiente de manera similar a las lanas finas. No hay evidencias de una mayor sensibilidad de los animales superfinos que perjudique la calidad textil de su lana. Este hecho es de relevancia al haber en Patagonia muchos productores interesados en criar este tipo de animales.

En general, los descriptores univariados que caracterizan un Perfil de Diámetro de Fibra no aportan información adicional sustancial, a la proporcionada por las mediciones típicas como diámetro medio de fibra, cuando se pretende comparar líneas genéticas (Merino) dentro de ambientes. La excepción son las tasas de cambio del diámetro inicial y final (TCD1 y TCD2, respectivamente). Estas variables reflejan la dinámica de la respuesta en el cambio del crecimiento de la fibra ante condiciones ambientales particulares en un periodo más extendido de tiempo, diferenciándose de otros descriptores univariados del perfil como el diámetro máximo o el diámetro mínimo, ambos de naturaleza más bien estática y con una impronta más genética que ambiental.

Particularmente, la separación de la tasa de cambio de diámetro en dos fases, de engrosamiento y de afinamiento, es un avance en especificidad con respecto a Sacchero y Mueller (2007) que utilizaron una única tasa calculada en base al diámetro mínimo (absoluto) y el diámetro máximo, al demostrarse aquí que los valores de TCD1 son significativamente mayores que los de TCD2 como resultado de las complejas interrelaciones de los factores

nutricionales y fisiológicos, entre otros, que determinan la actividad de los folículos y el crecimiento de la lana a lo largo del año.

De esta forma, la tasa inicial de cambio del diámetro (TCD1) refleja el engrosamiento de las fibras hasta llegar a su máximo anual que ocurre desde fines del invierno hasta mediados de la estación estival en condiciones favorables de temperatura, fotoperiodo y de disponibilidad de forraje. Por su parte, la tasa final de cambio del diámetro (TCD2) es la expresión fenotípica ante condiciones ambientales contrapuestas a las anteriores con afinamiento sostenido del diámetro de fibra que se produce a través del otoño e invierno.

La posibilidad de comparar perfiles promedios de majadas en años climáticamente diferentes permite conocer de qué manera repercute el ambiente sobre los patrones de crecimientos de la fibra, sean estos patrones deseados como no deseados, desde el punto de vista de la calidad textil. Los resultados obtenidos en estos trabajos permiten intuir que si bien se mantiene la forma de huso informada previamente para las lanas preparto (Sacchero y Mueller, 2007), no existe un perfil que represente la lana de esta región particular, que hay diferencias entre años y que hembras de distintas edades no reaccionan del mismo modo a las condiciones ambientales. Esta fuente de variación podría explotarse para la preparación en la esquila de distintas clases de lanas de acuerdo a su destino industrial, optimizando la comercialización. Sin embargo, es necesario acotar estos resultados al área ecológica de Sierras y Mesetas patagónicas y al manejo propio del establecimiento donde fueron generados los datos.

En definitiva, esta información brinda la oportunidad de modificar o ajustar prácticas de manejo en el mismo sentido que se utiliza información para establecer, por ejemplo, el momento oportuno para una práctica sanitaria o una suplementación nutricional estratégica. El estudio llevado a cabo para determinar el efecto de distintos estados fisiológicos sobre el diámetro de fibra permitió demostrar que la gestación temprana no afectó las variables de diámetro de fibra estudiadas en el perfil. En cambio, la gestación avanzada y lactancia afectaron significativamente, durante el tiempo en que se producen, las características del diámetro de fibra. Tal efecto no es permanente y tiende a desaparecer paulatinamente luego del pico de lactancia o el destete. Trabajos previos (Oddy, 1985) habían observado que la diferencia de crecimiento en diámetro entre ovejas en lactancia y secas se observa en el primer mes de lactancia pero no en el tercero. Aquí se pudo demostrar también, que el estado fisiológico no afectó a la lana desde el punto de vista comercial al no encontrarse diferencias significativas en diámetro medio de fibras.

Esta información tiene aplicación práctica para los casos en que sea posible el manejo nutricional diferencial de ovejas secas y preñadas a partir de la esquila (vía pastoreo y/o suplementación), de acuerdo a cada condición fisiológica, de manera de controlar la variabilidad del diámetro a lo largo de la fibra. Dicha práctica de manejo tiene también incidencia en otros aspectos productivos, como mayores pesos al nacimiento de corderos, mejores índices de supervivencia perinatal y aspectos relacionados al bienestar animal al mejorar la condición general de las ovejas preñadas. Estas observaciones podrían ayudar a proporcionar a los productores laneros definiciones para protocolos de manejo que mejoren la calidad de la lana en concordancia con las demandas actuales de producción sustentable.

El análisis de los Perfiles de Diámetro de Fibra en el contexto de las mediciones repetidas, demostró que existe un patrón de crecimiento diferencial para el diámetro de fibra en lanas de hembras preñadas y vacías, seguramente debidas a las diferencias en requerimientos nutricionales y repartición de nutrientes de ambas. Mediante estas técnicas de análisis se demostraron diferencias que pasan desapercibidas cuando se evalúan a través de mediciones típicas como el diámetro medio de fibras. Finalmente se cuenta ahora con un conocimiento acabado sobre las técnicas biométricas de análisis que se aplican para el caso mediciones repetidas, tanto sincronizadas como no sincronizadas, de diámetros de fibra en lana.

En los perfiles individuales se observa la gran variabilidad de respuesta en la expresión fenotípica, tanto para diámetro de fibra como para longitud de mecha, que ocurre entre animales ante las mismas condiciones ambientales. Esta variabilidad es en buena parte genética como lo indican las heredabilidades de 0,5 y 0,4 para diámetro de fibra y longitud de mecha respectivamente (Atkins, 1997). Siendo la correlación fenotípica entre estas variables cercana a 0,20 (Safari y Fogarty, 2003) sería posible seleccionar animales que cumplan con el objetivo de menor diámetro de fibras sin perder longitud de mecha.

Los valores de correlaciones genéticas y fenotípicas para los descriptores univariados del perfil con DMF, CVDMF y resistencia a la tracción han sido determinados (Yamin *et al.*, 1999; Greef, 2002). La finalidad de esos trabajos fue, sin éxito, encontrar un criterio de selección indirecto mejor correlacionado con la resistencia a la tracción que el CVDMF.

La utilización de información de los Perfiles de Diámetro de Fibra en programas de mejora genética ovina para lana es un paso que deberá esperar. En el futuro esta información podría ser utilizada en poblaciones ovinas con información de parentesco, aplicando los avances tecnológicos que la biotecnología y la bioinformática aportan al mejoramiento genético a través de la selección genómica.

## 5.4 Recomendaciones finales

Se recomienda extender los estudios de Perfiles de Diámetro de Fibra (mediante descriptores univariados o regresiones *Splines*) a los genotipos Merino y ambientes predominantes de la Patagonia (precordillera, meseta central y monte austral) donde es importante la producción ovina para lana, para contar con información que permita analizar y cuantificar la interacción genotipo ambiente.

Si bien los perfiles de diámetro de fibra han sido analizados a través de sus descriptores univariados y bajo un enfoque de mediciones repetidas, no se ha abordado el análisis multivariado de los datos. Este quizás aporte una mirada diferente o superadora sobre la cual sería interesante avanzar.

En relación a los descriptores univariados es necesario profundizar los estudios para demostrar si existe una relación entre las tasas de cambio del diámetro y la resistencia a la tracción como sugieren varios trabajos de investigación; y de existir, si dicha relación es extrapolable a diferentes genotipos, ambientes y especies.

Los trabajos de investigación que se planteen para el futuro sobre dinámica de crecimiento de la lana con perfiles de diámetro de fibra deberían considerar la aplicación de técnicas de teñido de fibras (*dye banding*), que permite referenciar las mediciones de diámetro a la variable tiempo, de manera de sumar evidencias que contextualicen la información y nos ayuden a comprender con mayor detalle las expresiones fenotípicas.

Dados los recientes hallazgos de Whelan *et al.*, (2008 y 2009) sería interesante realizar estudios en la Patagonia que aborden la relación ente los perfiles y los índices de vegetación para integrarlos como herramienta de pronóstico o alerta temprana de la producción lanera.

Por último, es necesario saber si los perfiles pueden ser útiles para entender el crecimiento de otras fibras textiles de origen animal como el mohair, el cashmere y los pelos y fibras de camélidos sudamericanos, sobre los cuales la información disponible es en todos los casos limitada.



## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, N. R., Greeff, J. C., Kelly, R. W. and Peter, D. W. 1996. Repeatability of the rate of wool growth across seasons in a Mediterranean environment. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 21, 127-130.
- Adams, N. R., Briegel, J. R. and Ritchie, J. M. 1997. Wool liveweight responses to nutrition by Merino sheep genetically selected for high or low staple strength. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48, 1129-1137.
- Adams, N. R. and Briegel, J. R. 1998. Liveweighty wool growth responses to a Mediterranean environment in three strains of Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 1187-1193.
- Adams, N. R. and Briegel, J. R. 2002. Variation in fibre diameter along the wool staple in sire progeny groups. *Animal Production Science* 24, 5-8.
- Atkins, K. D. 1997. Genetic improvement of wool production. In: *The Genetic of Sheep*. Piper, L. and Ruvinsky, A. (Ed.) 471-504.
- Baxter, B. P. 2001a. Precision of measurement of diameter, y diameter-length profile, of greasy wool staples on farm, using the OFDA 2000 instrument. *Wool Technology and Sheep Breeding* 49, 42-52.
- Baxter, B. P. 2001b. On farm classing of animals y fleeces with the OFDA 2000. *Wool Technology and Sheep Breeding* 49, 133-155.
- Brown, D. J., Crook, B. J. and Purvis, I. W. 1999. Genotype and environmental differences in fibre diameter profile characteristics and their relationship with staple strength in Merino sheep. *Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 13, 274-277.

- Brown, D. J., Crook, B. J. and Purvis, I. W. 2000a. Variation in fibre diameter profile characteristics between wool staples in Merino sheep. *Wool Technology and Sheep Breeding* 48, 86-93.
- Brown, D. J., Crook, B. J. and Purvis, I. W. 2000b. The estimation of fibre diameter profile characteristics using reduced profiles techniques. *Wool Technology and Sheep Breeding* 48, 1-14.
- Brown, D. J. and Schlink, A. C. 2002a. A comparison of fibre diameter profiles generated using 2 mm snippet techniques to those measured using the OFDA2000. *Wool Technology and Sheep Breeding* 50, 27-39.
- Brown, D. J., Crook, B. J. and Purvis, I. W. 2002b. Differences in fiber diameter profile characteristics in wool staples from Merino sheep and their relationship with staple strength between years, environments and bloodlines. *Australian Journal of Agricultural Research* 53, 481- 491
- Brown, D. J. and Crook, B. J. 2005. Enviromental responsiveness of fibre diameter in grazing fine wool Merino Sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 56, 673-684.
- Butler, L. G. 1994. Factors affecting staple strength with particular referente to Tasmania. *Wool Technology and Sheep Breeding*, 42, 213-230.
- Chapman, R. E. and Wheeler, J. L. 1963. Dye banding: A technique for fleece growth studies. *Australian Journal of Science* 26, 53-54.
- Corbett, J. L. and Furnival, E. P. 1976. Early weaning of grazing sheep. 2. Performance of sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 16, 156-166
- Corbett, J. L. 1979. Variation in wool growth with physiological state. In: *Physiological and environmental limitations to wool growth*. Eds J. L. Black and P. J. Reis. Univ. New England Publishing Unit, Armidale, pag. 79.

- Cuesta, C. 2007. El uso de regresiones P-Spline, expresadas como un modelo mixto, para analizar datos longitudinales. Tesis de Maestría en Estadística, Universidad Nacional de Rosario.
- Denney, G. D. 1990. Phenotypic variance of fibre diameter along wool staples and its relationship with other raw wool characters. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30, 463-467.
- Doyle, P. T. and Thompson, A. N. 1993. Grazing management - for fine and sound wool. *Proceedings of a National Workshop on Management for Wool Quality in Mediterranean Environments*. pp 115-124.
- Doyle, P. T. and Thompson, A. N. 1994. *Pasture Management. Technology for the 21st century*. CSIRO Melbourne, Australia.
- Eubank, R. 1999. *Nonparametric regression: Smoothing scatterplots*. New York, Marcel Dekker.
- Fox, J. 2000. *Nonparametric simple regression: Smoothing scatterplots*. Thousand Oaks, CA, Sage.
- Friends, M. A. and Robards, G. E. 2005. Fibre diameter and staple strength of sheep selected for divergent clean fleece weight when subjected to an increase in intake or an increase in intake and diet change. *Australian Journal of Agricultural Research* 56, 195-201.
- García, G. y Joustra, P. 1966a. Variación estacional del diámetro de la lana (I) Zona Central. *Agricultura Técnica, Chile*. Vol. 26 (3) 114-122.
- García, G. y Joustra, P. 1966b. Variación estacional del diámetro de la lana (II) Zona Austral. *Agricultura Técnica, Chile*. Vol. 26 (4) 148-155.
- Giraudó, C.G. y Somlo, R. 1995. Empleo de un pastizal diferido en la nutrición invernal de ovinos. *Revista Argentina de Producción Animal* 15, 312-314.

- Greef, J. C. 2002. Can along and between fibre diameter variation make a contribution in Merino breeding programs ? *Wool Technology and Sheep Breeding* 50, 11-15.
- Hansford, K. A., Emery, G. B. and Teasdale, D. C. 1985. A method to measure the diameter profile of wool staples. *Wool Technology and Sheep Breeding* 33, 1-25.
- Hansford, K. A. 1994. Fleece specifications and processing prediction. *Woolspec '94. Proceedings of a seminar on specification of Australian wool and its implications for marketing and processing.* Eds RA Rotterbury, KA Hansford, J. P. Scalan. CSIRO Division of Wool Technology, Sydney.
- Hansford, K. 1997a. A study of the specification and topmaking performance of western australian fleeces and sale lots. *Congreso IWTO, Niza, Francia. Reporte N°15.*
- Hansford, K. 1997b. Wool strength and topmaking. *Wool Technology and Sheep Breeding.* 45, 309-320.
- Hansford, K. A. and Kennedy, J. P. 1998. Relationship between the rate of change in fibre diameter and staple strength. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 17, 415.
- Hatcher, S., Atkins, K. D. and Purvis, I. W. 1999. Does translocating environments affect wool production and wool quality of Merino weathers. *Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 13.
- Hynd, P. I. 1989. Effects of nutrition on wool follicle cell kinetics in sheep differing in efficiency of wool production. *Australian Journal of Agricultural Research* 40, 409-417.
- Hynd, P. I., Hughes, A., Earl, C. R. and Penno, N. M. 1997. Seasonal changes in the morphology of wool follicles in finewool and strongwool Merino Straits grazing at different stocking rates in southern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48: 1089-1097.

- Jackson, N. and Downes, A. M. 1979. The Fibre Diameter Profile of wool staples from individual sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 30, 163-171.
- Kelly, R. W., Macleod, I., Hynd, P. and Grief, J. 1996. Nutrition during fetal life alters annual wool production and quality in young Merino sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 36, 259-267.
- Laporte y Duga, 1980. Variación estacional del diámetro y ritmo de crecimiento de la fibra de lana. Ediciones INTA.
- Lewer, R. P., Woolaston, R. R. and Howe, R. R. 1992. Studies on Western Australian Merino sheep. 1. Stud, strain and environmental effects on hogget performance. *Australian Journal of Agricultural Research* 43, 1381-1397.
- Masters, D. G. and Stewart C. A. 1990. Wool growth and reproduction. In: *Reproductive physiology of Merino sheep*. Eds. C. M. Oldham G. B. Martin and I. W. Purvis. Univ. of Western Australia, Perth, p. 265.
- Masters, D. G. and Hynd, P. I. 2000. Nutrition and wool quality. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia*, 24, 66-74.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. and Morgan, C. A. 2002. *Nutrición Animal* 6ª edición. Capítulo 15: Necesidades nutritivas para la reproducción. Editorial Acribia, España.
- Montgomery, G. W. and Hawker, H. 1987. Seasonal reproduction in ewes selected on seasonal changes in wool growth. *Journal of Reproduction and Fertility* 79, 207-213.
- Mueller, J. P., Siffredi, G., Giraud, C., Willems, P. y Taddeo, H. 1995. Efectos de las restricciones alimenticias durante el primer invierno y sus secuelas en caracteres de producción de ovinos en Patagonia. Seminario taller sobre producción, nutrición y utilización de pastizales. FAO-UNESCO / MAB-INTA, Trelew, Argentina.

- Mueller, J. P., Duga, L., Giraud, C. y Bidinost, F. 2001. Calidad de vellones de una majada Merino de la Patagonia. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 30, 101-114.
- Mueller, J. P., Sacchero, D. y Duga, L. 2005a. Interacción genotipo ambiente sobre la producción de ovinos de lana superfina en la Patagonia: 2. Calidad de lana. *Revista Argentina de Producción Animal* 25, 143-152.
- Mueller, J. P., Bidinost, F. y Giraud, C. 2005b. Interacción genotipo ambiente sobre la producción de ovinos de lana superfina en la Patagonia. 1. Pesos corporales, pesos de vellón y sobrevivencia. *Revista Argentina de Producción Animal* 25, 53-61.
- Nagorcka, B. N. 1979. The effect of photoperiod on wool growth. In: *Physiological and environmental limitations to wool growth*, p. 127-137.
- Naylor, G. R. and Stanton, J. 1997. Time of shearing and the diameter characteristics of fibre ends in the processed top: An opportunity for improved skin comfort in garments. *Wool Technology and Sheep Breeding*. 45, 243-255.
- Naylor, G. R. and Hansford, K. A. 1999. Fibre end properties in processed top relative to the staple for wool grown in a Mediterranean climate and shorn in different seasons. *Wool Technology and Sheep Breeding*. 47, 107-117.
- Oddy, V. H. 1985. Wool growth of pregnant and lactating Merino ewes. *Journal of Agricultural Science* 105, 613-622.
- Olaechea, F. V., Bellati, J. P., Suarez, M. C., Pueyo, J. M. y Robles, C. A. 1983. Mortalidad perinatal en corderos en el oeste de la provincia de Río Negro. 2ª parte. *Revista Argentina de Producción Animal* 10, 569-574.
- Oldham, C. M., Couchman, R. C. y Robinson, G. A. 1998. Report on an investigation into effects of season of shearing and selling center on processing performance to top. IWTO Congress, Dresden, Report N° 6.

- Paccapelo, M. V., Willems, P. y Sacchero, D. 2009. Estudio de perfiles de diámetro de fibra en lana de ovejas Merino mediante Regresión Spline Penalizada. XIV Reunión Científica del GAB (Grupo Argentino de Biometría). Trelew, Chubut.
- Peterson, A. D., Gherardi, S. G., Doyle, P. T., 1998. Components of staple strength in fine and broad wool Merino hoggets run together in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 1181–1186.
- Peterson, A. D., Gherardi, S. G. and Ellis, M. R. 2000. Managing the diameter profile leads to increased staple strength of young Merino sheep shorn in spring in South Western. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 13, 469-472.
- Robertson, S. M., Robards, G. E. and Wolfe, E. 2000. The timing of nutritional restriction during reproduction influences staple strength. *Australian Journal of Agricultural Research* 51, 125-132.
- Reis, P. J. 1991, Nutritional regulation of wool growth in Merino sheep. In *Wool Biology* (Ed. Hynd, P. I.) (AWC).
- Rupert, D., Wand, M. P. y Carroll, R. 2003. *Semiparametric regression*. Cambridge University Press.
- Ryder, M. L. y Stephenson, S. K. 1968. Wool Growth. Part II. The skin and the fleece 286-287. Academic Press Inc..
- Sacchero, D. y Mueller, J. P. 2007. Diferencias en el perfil de diámetro de fibras, largo de mecha y resistencia a la tracción de la lana en ovejas de una majada Merino seleccionada y una no seleccionada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 36, 49-61.
- Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. 2010. Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. I. Estudio comparativo de líneas genéticas. *Revista Argentina de Producción Animal* 30, 31-42.

- Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. 2011. Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. II. Estudio comparativo de estados fisiológicos. *Revista Argentina de Producción Animal* 31, 39-50.
- Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J. 2012. Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. III. Utilización de regresiones P-Spline para estudiar el efecto del estado fisiológico 32, 15-28.
- Safari, A. and Fogarty, N. 2003. Genetic parameters for sheep production traits. *NSW Agriculture*.
- SAS. 2009. SAS/STAT User's Guide. Version 9.0. SAS Institute, Cary, NC.
- Schlink, A. C., Lea, J., Ritchie, A. J. M. and Saunders, M. 1996. Impact of a Mediterranean environment on wool follicles and fibre growth in high and low staple strength Merino wethers. *Wool Technology and Sheep Breeding* 44, 81-82.
- Silverman, B. W., 1985. Some aspects of Spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting. *Journal of the Royal Statistics Society* 47, 1-52.
- Simonoff, J. S. 1996. *Smoothing methods in Statistics*. New York. Springer Verlag.
- SIPyM. 2010. Sistema de Información de Precios y Mercados; [www.minagri.gov.ar](http://www.minagri.gov.ar)
- Stott, K. Interactive pricemaker On-line. <http://www/pricemaker.info/index.html>.
- Thompson, A. N., Doyle, P. T. and Grimm, M. 1994. Effects of stocking rate in spring on liveweight and wool production of sheep grazing annual pastures. *Australian Journal of Agricultural Research* 45, 367-389.
- Thompson, A. N. and Hynd, P. I. 1998. Wool growth and fibre diameter changes in young Merino sheep genetically different in staple strength and fed different levels of nutrition. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 889-898.

- Thompson, A. N. and Young, J. M. 2002. Potential economic benefits from improving ewe nutrition to optimize lifetime wool production and quality in southwest Victoria. Proceeding Wool Industry Science & Technology Conference.
- Turner, H. N., Brown, G. H. and Ford, G. H. 1968. The influence of age structure on total productivity in breeding flock of Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 19, 443-475.
- Villar, L., Giraudó, C., Cueto M. y Cohen, L. 2010. Comunicación Técnica INTA N° 567. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Whelan, M., Geenty, K., Cottle, D., Lamb, D. and Donald, G. 2008. The relationship between a satelital derived vegetation index and wool fibre diameter profiles. Proceedings of 10<sup>th</sup> World Conference on Animal Production, Cape Town, SA, 23-28 November, WAAP.
- Whelan, M., Geenty, K., Cottle, D., Lamb, D. and Brown, D. 2009. Classifying sheep grazing enviroments using satellite data to quantify genotype by environment interaction. *Proceedings of the 18th Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics Conference. Matching genetics and environment : a new look at an old topic*, Barossa Valley, SA, 28 September - 1 October, Roseworthy, SA, pp. 52-55.
- Williams, A. J. and Butt, J. 1989. Wool growth of pregnant Merino ewes fed to maintain maternal liveweight. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29, 503- 507.
- Williams, O. B. and Chapman, R. E. 1966. Additional information on the technique of wool growth measurement. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 32, 298-300.
- Williams, A. J. and Thornberry, K. J. 1992. The skin thickness of medium wool Merino sheep and its relationship to wool production. Proceedings of the Australian Society of Animal Production 19, 138-141.
- Wu, H. and Zhang, J. 2006. Nonparametric regression. Methods for longitudinal data analyses. New York, Wiley.

Yamin, M., Hynd, P. I., Ponzoni, R. W., Hill, J. A., Pitchford, W. S. and Hansford, K. A.  
1999. Is fibre diameter variation along the staple a good indirect selection criterion for  
staple strength? *Wool Technology and Sheep Breeding* 47, 151-158.

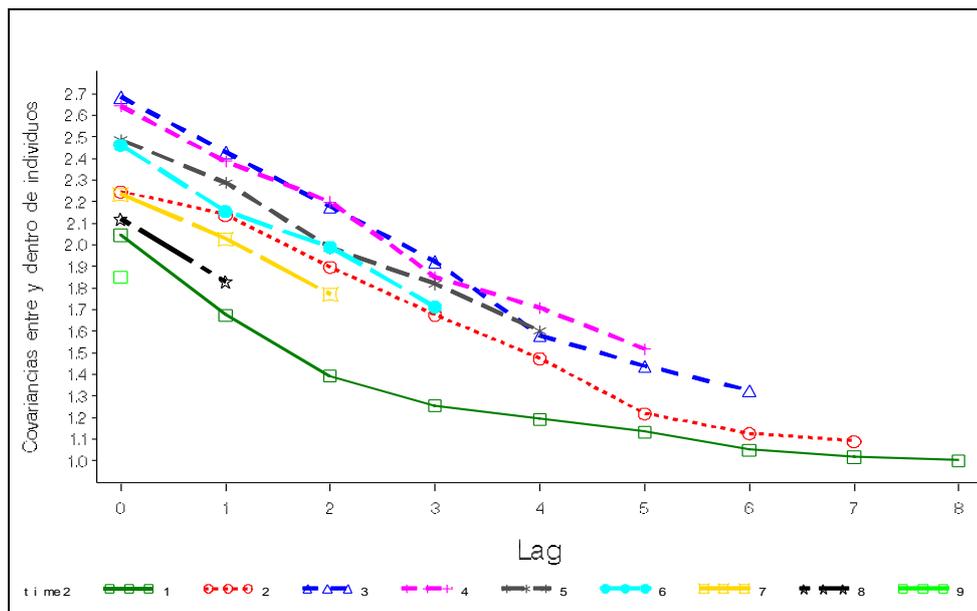


## Anexo

### Modelo Semiparamétrico. Elección de estructura de covariancia y análisis de residuales de regresiones P-Spline

#### 1. Estructura de Covariancia de errores aleatorios (datos interpolados)

En base a la inspección de la Figura 14 se proponen diferentes estructuras de covariancia a considerar en los ajustes de los modelos que se planteen. Se observa que las covariancias decrecen a medida que los datos se encuentran más distantes. Este hecho descarta la posibilidad de considerar estructuras como simetría compuesta y sugiere estructuras como Autorregresiva de orden uno (que equivale a estructura SP(exp) para la situación de datos originales, no sincronizados) o Toeplitz (ésta sólo válida para los datos interpolados, ya que requiere observaciones sincronizadas y equiespaciadas).



**Figura 14:** Grafico de covariancias para datos interpolados de Perfiles de Diámetro de Fibra.

Debido a limitaciones en la capacidad de memoria RAM de la PC, y sólo a los efectos de obtención de información para la confección de este gráfico, se consideraron sólo las mediciones de diámetros promedio cada 10 mm.

*Elección de la estructura de covariancia:*

El modelo para la estructura de la media es el modelo de la expresión (1), para lo cual se trabaja modelando la media con una estructura factorial (modelo saturado):

$$y_{ijt} = \mu + Grupo_i + Med_t + (Grupo * Med)_{it} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, 8 \quad t = 1, 2, \dots, T \quad j = 1, 2, \dots, n_i$$

donde:

$y_{ijt}$   $t$ -ésima medición de diámetro de fibra del animal  $j$ -ésimo del  $i$ -ésimo nivel del factor Grupo,

$Grupo_i$  efecto del  $i$ -ésimo nivel de Grupo (combinación de niveles de Estado Fisiológico y Edad),

$Med_t$  efecto de la  $t$ -ésima medición,

$(Grupo * Med)_{it}$  efecto interacción entre ambos factores,

$\varepsilon_{ijt}$  error aleatorio.

Además, se supone que  $\boldsymbol{\varepsilon}_{ijt} = (\varepsilon_{ijt1}, \varepsilon_{ijt2}, \dots, \varepsilon_{ijtT})'$  sigue una distribución normal con media el vector nulo  $\mathbf{0}$  y matriz de variancias y covariancias  $\mathbf{R}$ .

Los resultados de los ajustes con distintas estructuras de covariancia se exponen en la Tabla 12.

**Tabla 12:** Estadísticas para la elección de la estructura de covariancia modelo *P-Spline* para datos de diámetros interpolados.

Estructura covariancia	Nº de parámetros	AIC	BIC	- 2ResLogVerosim
<b>AR(1)</b>	<b>2</b>	<b>4002,2</b>	<b>4008,6</b>	<b>3998,0</b>
TOEP	9	3984,0	4013,6	3966,0
AR(1)+RE	3	4003,8	4013,7	3997,8
UN	45	4027,3	4412,1	3793,3

Basados fundamentalmente en el indicador BIC, se optó por la estructura AR(1). Si bien la Toeplitz pareciera presentar mejores indicadores, la misma no tiene equivalencia para datos no sincronizados. En cuanto a la estructura AR(1)+RE, no presenta mejoras frente a la AR(1) (test de cociente de verosimilitud no significativo). Se recuerda que para datos no sincronizados, el equivalente a la estructura seleccionada es la SP(EXP).

## 2. Estructura de Covariancia de los efectos aleatorios (datos originales)

Para la elección de la estructura de covariancia adecuada para los efectos aleatorios se realizaron ajustes de regresiones *P-Spline* de tipo cuadrático mediante la definición de funciones de base truncada. Se consideraron  $K = 9$  nodos equiespaciados, es decir, a distancias relativas de 10, 20, ... y 90%; el ajuste se hizo bajo el enfoque de modelos mixtos.

Se procedió primero a seleccionar la estructura de covariancia en base a un modelo para la media. En este caso, para la media se ajusta un modelo de regresión *spline* penalizada de segundo orden (o cuadrático), modelo que contempla además, al menos en esta primer instancia, la posibilidad de distinta forma de la curva para cada uno de los distintos grupos que surgen de combinar los factores Estado Fisiológico y Edad (8 grupos), es decir:

$$y_{ihjt} = f_{ihj}(d_{ihjt}) + \varepsilon_{ihjt} \quad i = 1,4 \quad h = 1,2 \quad j = 1, n_{ih} \quad t = 1, 2, \dots, T_{ihj} \quad i = 1,9$$

siendo,

$y_{ihjt}$   $t$ -ésima medición de diámetro de fibra del animal  $j$ -ésimo del  $i$ -ésimo nivel del factor Estado Fisiológico y del  $h$ -ésimo nivel del factor Edad,

$d_{ihjt}$  distancia relativa a la punta de la mecha correspondiente a la  $t$ -ésima medición del animal  $j$ -ésimo del  $i$ -ésimo nivel del factor Estado Fisiológico y el  $h$ -ésimo nivel del factor Edad,

$\varepsilon_{ihjt}$  error aleatorio,

$T_{ihj}$  número de mediciones del  $j$ -ésimo animal del  $i$ -ésimo nivel del factor Estado Fisiológico y el  $h$ -ésimo nivel del factor Edad,

$n_{ih}$  número de animales del  $i$ -ésimo nivel del factor Estado Fisiológico y el  $h$ -ésimo nivel del factor Edad.,

$$\begin{aligned} f_{ihj}(d_{ihjt}) = & \mu + \tau_i + \gamma_h + (\tau\gamma)_{ih} + \beta_1 d_{ihjt} + \beta_{1i}^\tau d_{ihjt} + \beta_{1h}^\gamma d_{ihjt} + \beta_{1ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt} + \\ & + \beta_2 d_{ihjt}^2 + \beta_{2i}^\tau d_{ihjt}^2 + \beta_{2h}^\gamma d_{ihjt}^2 + \beta_{2ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt}^2 + \\ & + \sum_{k=1}^9 u_k (d_{ihjt} - N_k)_+^2 + \\ & + \sum_{k=1}^9 v_{ik} (d_{ihjt} - N_k)_+^2 + \sum_{k=1}^9 w_{hk} (d_{ihjt} - N_k)_+^2 + \\ & + \sum_{k=1}^9 (vw)_{ikh} (d_{ihjt} - N_k)_+^2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

donde:

$\tau_i$  efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor Estado Fisiológico,

$\gamma_h$  efecto del  $h$ -ésimo nivel del factor Edad,

$(\tau\gamma)_{ih}$  efecto interacción entre los factores Estado Fisiológico y Edad,

$$(d_{ihjt} - N_k)_+^2 = [\max(0, d_{ihjt} - N_k)]^2.$$

Los parámetros  $\mu, \tau_i, \gamma_h, (\tau\gamma)_{ih}, \beta_1, \beta_{1i}^x, \beta_{1h}^y, \beta_{1ih}^{xy}, \beta_2, \beta_{2i}^x, \beta_{2h}^y$  y  $\beta_{2ih}^{xy}$  corresponden a los efectos fijos de este modelo *P-Spline*. Los efectos aleatorios  $u_k, v_{ik}, w_{hk}$  y  $(vw)_{ihk}$  correspondientes a cada nodo (de allí el subíndice  $k$ ) son propios del modelo de regresión *P-Spline*, los primeros relativos a una única curva poblacional y los siguientes relativos a cada uno de los niveles de los factores Estado Fisiológico, Edad y su interacción, respectivamente.

Se supone independencia entre los errores aleatorios  $\varepsilon$  y los efectos aleatorios antes mencionados y además,  $\varepsilon_{ihj} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$ ,  $\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2 \mathbf{I})$ ,  $\mathbf{v} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_v^2 \mathbf{I})$ ,  $\mathbf{w} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_w^2 \mathbf{I})$ ,  $\mathbf{vw} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_{vw}^2 \mathbf{I})$ .

La Tabla N° 13 muestra resultados de los ajustes que se realizaron suponiendo distintas estructuras de covariancia. En primer lugar, en base a los resultados anteriores, es necesario considerar que existe correlación entre las observaciones de un mismo animal y por ello se toma como estructura para  $\mathbf{R}$  al modelo de correlación de tipo exponencial. En cuanto a las restantes componentes de variancia, los valores más pequeños de AIC y de BIC no se dan para el mismo modelo, pero este último criterio indica que la mejor estructura es  $\mathbf{R}=\text{SP}(\text{EXP})$  y  $\text{Var}(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$  cuyo valor de AIC (6998,9) difiere sólo en unos decimales del menor AIC (6998,5). Además, se probaron hipótesis sobre las variancias de los efectos aleatorios  $v_{ik}$  y  $w_{hk}$  por medio de la prueba del cociente de verosimilitud. La prueba conjunta de que ambas variancias son iguales a cero fue no significativa ( $p \leq 0,14$ ).

**Tabla 13:** Estadísticas para la elección de la estructura de covariancia del modelo de regresión *P-Spline* (resultados en negrita corresponden al modelo seleccionado).

Estructura covariancia	Nº de parámetros	AIC	BIC	-2ResLogVeros
$\mathbf{R} = \sigma^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{v}) = \sigma_v^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{w}) = \sigma_w^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{vw}) = \sigma_{vw}^2 \mathbf{I}$	5 <sup>(*)</sup>	13380.0	13553.0	13324.0
$\mathbf{R} = \text{SP}(\text{EXP})$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{v}) = \sigma_v^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{w}) = \sigma_w^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{vw}) = \sigma_{vw}^2 \mathbf{I}$	6 <sup>(*)</sup>	7000.3	7179.6	6942.3
$\mathbf{R} = \text{SP}(\text{EXP})$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{v}) = \sigma_v^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{w}) = \sigma_w^2 \mathbf{I}$	5	7000.3	7179.6	6942.3
$\mathbf{R} = \text{SP}(\text{EXP})$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{v}) = \sigma_v^2 \mathbf{I}$	4	6998.5	7171.5	6942.5
$\mathbf{R} = \text{SP}(\text{EXP})$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$ $Var(\mathbf{w}) = \sigma_w^2 \mathbf{I}$	4	7000.9	7173.9	6944.9
$\mathbf{R} = \text{SP}(\text{EXP})$ $Var(\mathbf{u}) = \sigma_u^2 \mathbf{I}$	<b>3</b>	<b>6998.9</b>	<b>7165.8</b>	<b>6944.9</b>

(\*) Para este período, la estimación de  $\sigma_{vw}^2$  es prácticamente nula y no se considera para penalizar.

Como consecuencia de los diferentes análisis se decidió trabajar con una estructura de covariancia que supone el modelo de correlación exponencial para los errores aleatorios (matriz  $\mathbf{R}$ ) y para los efectos aleatorios propios de los nodos una estructura Toeplitz (1), es decir,  $\sigma_u^2 \mathbf{I}$ . Es decir, se ajustó una regresión *P-Spline* única, igual para los ocho grupos que surgen de combinar los niveles de los factores Estado Fisiológico y Edad:

$$\begin{aligned}
 y_{ihjt} = & \mu + \tau_i + \gamma_h + (\tau\gamma)_{ih} + \beta_1 d_{ihjt} + \beta_{1i}^\tau d_{ihjt} + \beta_{1h}^\gamma d_{ihjt} + \beta_{1ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt} + \\
 & + \beta_2 d_{ihjt}^2 + \beta_{2i}^\tau d_{ihjt}^2 + \beta_{2h}^\gamma d_{ihjt}^2 + \beta_{2ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt}^2 + \\
 & + \sum_{k=1}^9 u_k (d_{ihjt} - N_k)_+^2 + \varepsilon_{ihjt}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

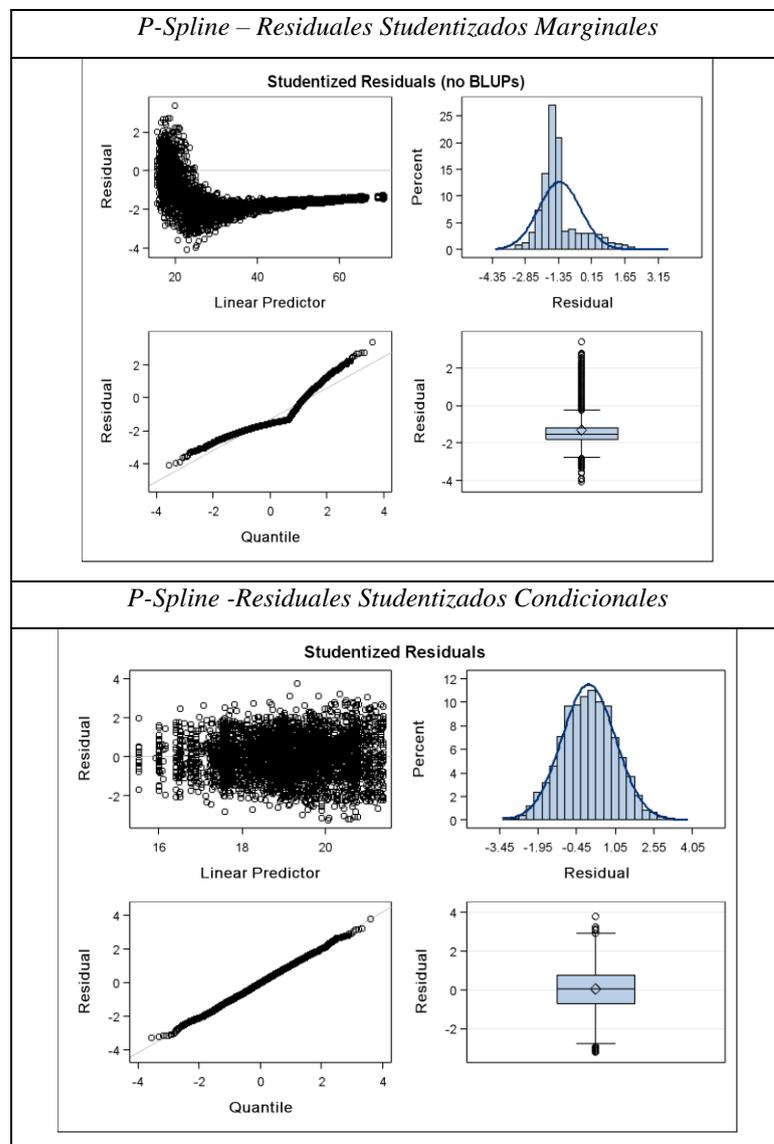
### 3. Análisis de residuales

A continuación se presentan los gráficos de residuales *studentizados*, marginales y condicionales, del modelo de regresión *P-Spline* seleccionado:

$$\begin{aligned}
 y_{ihjt} = & \mu + \tau_i + \gamma_h + (\tau\gamma)_{ih} + \beta_1 d_{ihjt} + \beta_{1i}^\tau d_{ihjt} + \beta_{1h}^\gamma d_{ihjt} + \beta_{1ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt} + \\
 & + \beta_2 d_{ihjt}^2 + \beta_{2i}^\tau d_{ihjt}^2 + \beta_{2h}^\gamma d_{ihjt}^2 + \beta_{2ih}^{\tau\gamma} d_{ihjt}^2 + \\
 & + \sum_{k=1}^9 u_k \left( d_{ihjt} - N_k \right)_+^2 + \varepsilon_{ihjt}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

con  $\varepsilon_{ihj} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$ ,  $\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2 \mathbf{I})$ , donde  $\mathbf{R}$  tiene una estructura  $\text{sp}(\exp)$ .

Si bien se presentan tanto los residuales *studentizados* marginales (no BLUPs) como los condicionales, para este caso de regresión *P-Spline* deben atenderse los condicionales (Figura 15), dado que el modelo se completa con los efectos aleatorios  $u_k$  indispensables para modelar la función promedio buscada.



**Figura 15:** Resumen del análisis de residuales de los Perfiles de Diámetro de Fibras.