

Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. 3. Utilización de regresiones *P-spline* para estudiar el efecto del estado fisiológico

*Fiber diameter profile in wool from Merino ewes shorn pre-lambing.
3. Using P-Spline regressions to study the effect of physiological conditions*

Sacchero¹, D.M., Willems, P. y Mueller, J.P.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Bariloche

Resumen

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 modelos de regresión *Spline* Penalizada (*P-Spline*). Tanto el efecto de la E como del EF resultaron significativos, mientras que la interacción entre ambos factores fue no significativa ($p < 0,3986$). La forma de los PDF fueron significativamente afectados por la edad de las hembras, resultando en falta de paralelismo entre los perfiles de ovejas 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 diferentes 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.

Palabras clave: perfiles de diámetro de fibra, Merino, calidad de lana, regresiones *spline*, estado fisiológico, edad.

Summary

Data on fiber diameter profiles (PDF) of superfine Merino ewes ($n = 200$) grazing in northwestern Patagonia, Argentina were analyzed. The ewes were classified into two age groups (E, adults and older animals) and four physiological conditions (EF), that arise from combining the condition

Recibido: junio 2011

Aceptado: noviembre 2011

1. Laboratorio de Fibras Textiles, INTA EEA Bariloche, C.C. 277 (8400) Bariloche, Argentina. E-mail: dsacchero@bariloche.inta.gov.ar

in two moments, at weaning, according to whether the ewes weaned (DTT) or not a lamb (NOD), and at shearing, according to whether the ewes were pregnant (PRE) or not (SEC). Data were analyzed as repeated measurements under a nonparametric approach using the methodology of Penalized Splines (*P-Spline*). The effects of E and EF were both significant, while the interaction between them was not ($p < 0.3986$). The shape of the PDF was significantly affected by age, resulting in a lack of parallelism between the profiles of adult and older females ($p < 0.0023$). This fact would indicate that ewes from different ages did not respond equally to different environmental conditions that occur throughout the year. The curves corresponding to the different levels of the EF factor were not all parallel ($p < 0.0132$), thus the shape of the PDF was different according to the physiological status of the ewe. The contrast for the effect of EF at weaning significantly ($p < 0.0012$) affected PDF, i.e., NOD and DTT curves were not parallel. On the other hand, the contrast for the effect of EF at shearing, resulted in curves for PRE and SEC that were parallel ($p < 0.7128$) and in agreement with each other ($p < 0.4911$). In summary, the higher nutritional requirements associated with the last third of pregnancy and lactation influenced the growth in diameter of the fibers. However, early gestation did not produce any difference in the response of fiber diameter when compared to non pregnant ewes. The study of fiber diameter variation throughout the year, using P-Splines regressions models, detected differences that can be missed when evaluated by univariate descriptors such as mean fiber diameter.

Key words: fiber diameter profile, Merino, wool quality, spline regression, physiological condition, age

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., 2002). 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 lana esquiladas preparto. Este patrón característico de variabilidad del diámetro a lo largo de las fibras influye en su calidad textil (Hansford, 1985; Oldham et al., 1998; Brown et al., 2002a) y, por consiguiente, en el precio al compararse con lanas esquiladas posparto (SIPYM, 2011).

Si bien el término perfil de diámetro de fibras es más bien reciente (Hansford, 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, 1994; Adams et al., 1996 y 1998; Brown et al., 2002b).

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 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–, 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, 2000a, 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 del diámetro 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, las que realizadas sobre la misma unidad experimental son denominadas “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, 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*.

Materiales y Métodos

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).

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 corde-

ro 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 (parto) 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).

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 mechadas 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.

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 no presentados aquí. 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. 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 truncada asociadas a los nodos (afectados a la parte aleatoria del modelo) y PROC MIXED para resolver el modelo mixto.

Resultados

Análisis descriptivo de los perfiles de diámetro de fibra

En la Figura 1 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 (Cuadro 1). 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. Por otro lado, en base a lo observado, y tal como se indica en la Figura 1 con número de caravana, se decidió no incluir en los análisis por comportamiento atípico a tres de los 200 animales.

En la parte izquierda de la Figura 2 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 2 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.

En la Figura 3 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.

Ajuste de curvas estimadas y curvas promedio

En la Figura 4 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.

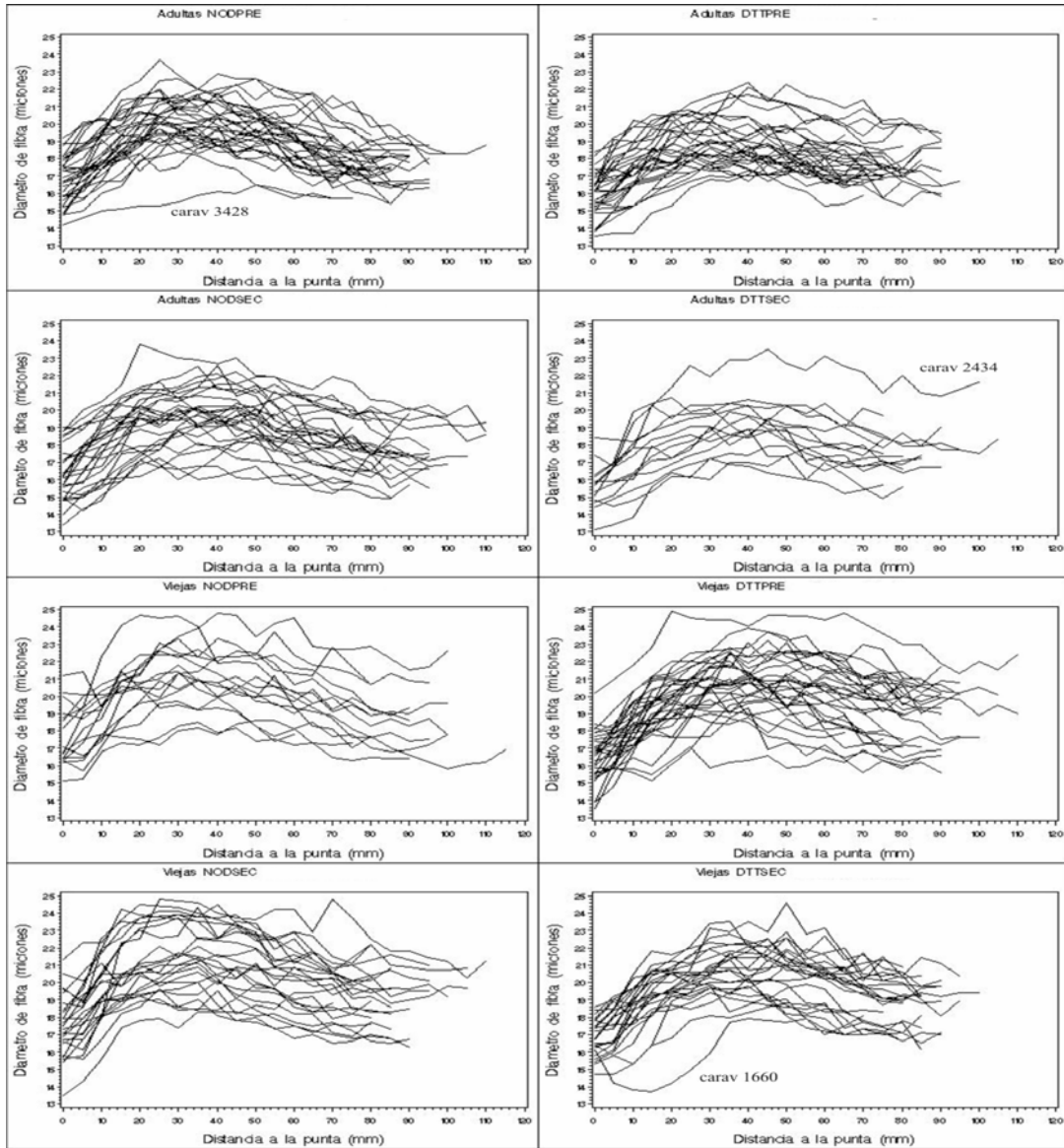


Figura 1: Perfiles de diámetro de fibra individuales considerando distancias reales a la punta de la mecha según edad y estado fisiológico. Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad; NODPRE, hembras que no destetaron corderos del año previo pero que quedaron 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.

Figure 1: Individual Fiber diameter profiles considering actual distances to the tip of the staple by age and physiological condition.

Cuadro 1: Cantidades mínimas y máximas de mediciones de diámetros realizadas y número de animales, según los distintos estados fisiológicos.

Table 1: Minimum and maximum diameter measurements performed and number of animals by physiological condition.

Tratamiento	Número de animales	Número de mediciones por animal	
		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.

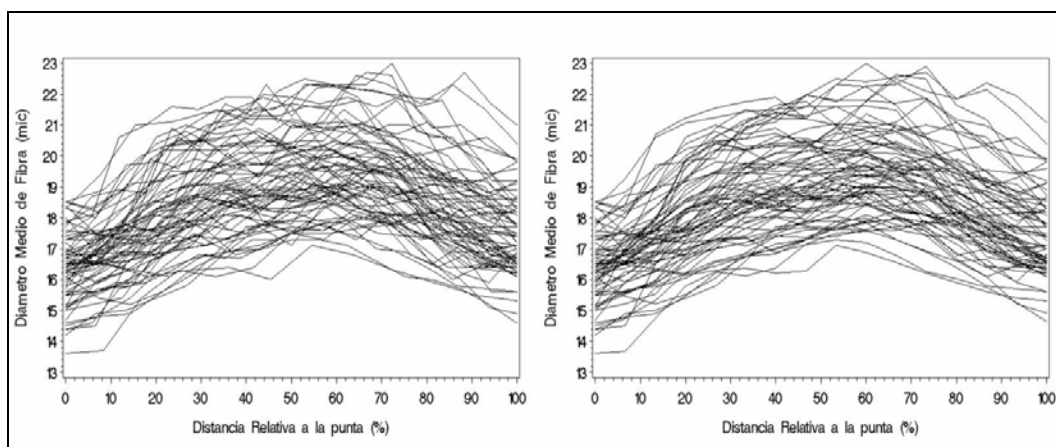


Figura 2: Ejemplo de perfiles de diámetro de fibra individuales con distancias relativas a la punta de la mecha considerando diámetros originales (izq.) y datos interpolados (der.) - Ovejas Adultas DTTPRE.

Figure 2: Example of individual fiber diameter profiles with relative distances to the tip of the staple considering original diameters (left) and interpolated data (right) - Adult ewes DTTPRE.

Prueba 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 Cuadro 2.

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.

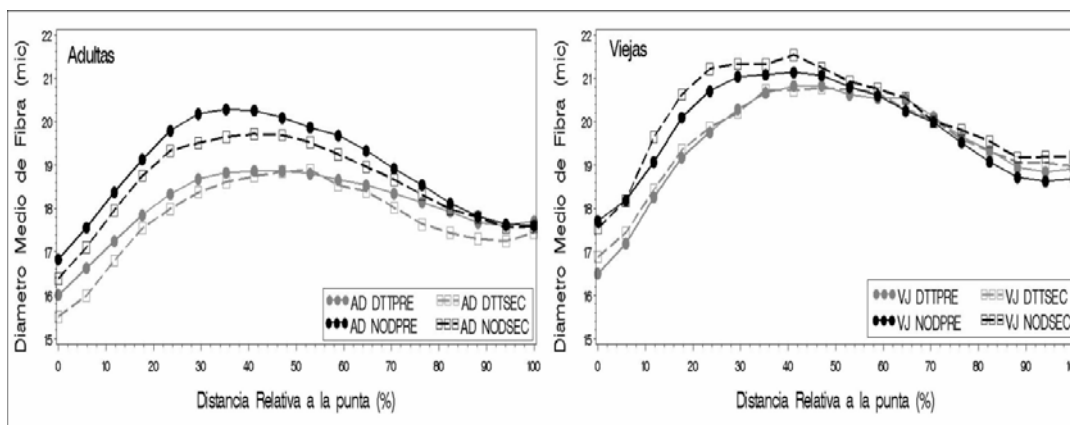


Figura 3: Perfiles de diámetro de fibra promedio con datos interpolados de los distintos estados fisiológicos para hembras Adultas (izquierda) y Viejas (derecha). Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad; DTTPRE, hembras que destetaron corderos del año 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.

Figure 3: Fiber diameter profiles averages from interpolated data (right) of different physiological conditions for adult (left) and old (right) ewes.

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.

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 5 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.

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.

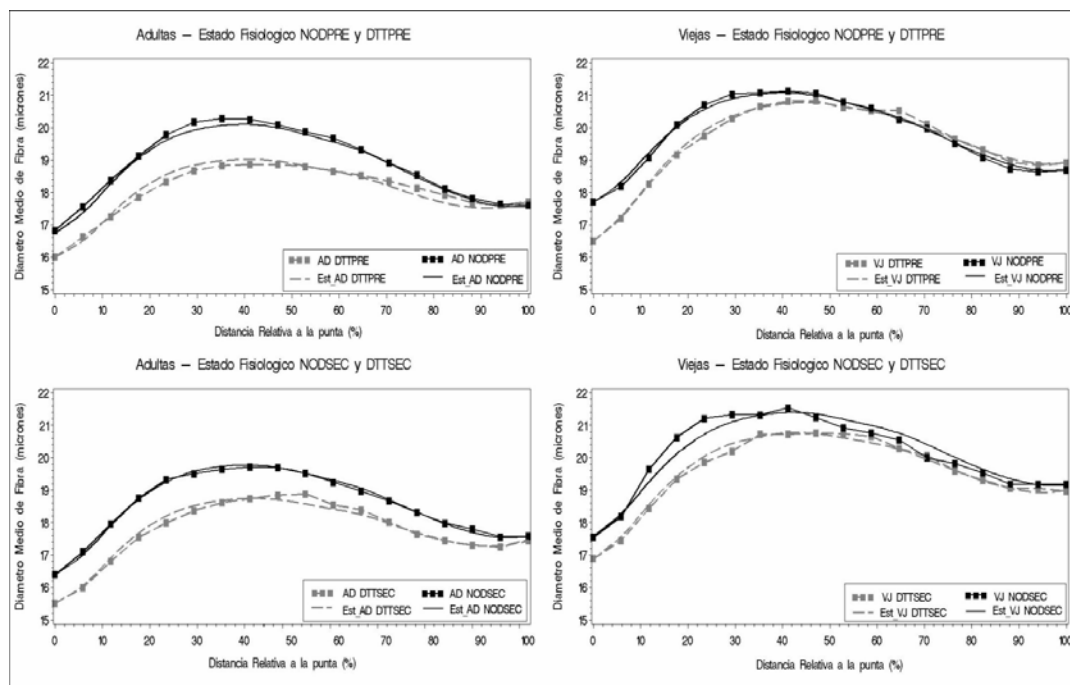


Figura 4: Perfiles promedio observados (con marcadores) y estimados a través de regresiones P-Spline (sin marcadores), para cada uno de los ocho grupos que surgen de combinar los niveles del factor edad y estado fisiológico. Referencias: AD y Est_AD, curva de valores observados y estimados para hembras 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; NÓDPRE, 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.

Figure 4: Observed average profiles (with markers) and estimated (by P-spline regression) average profiles (without markers) for each of the eight combinations of age by physiological condition.

Cuadro 2: P-valores correspondientes a las pruebas de hipótesis relativas a los efectos evaluados.

Table 2: P-values corresponding to hypotheses tests for evaluated effects.

Efecto	Prueba de hipótesis	
	Paralelismo	Coincidencia
Edad	0,0024	
Estado Fisiológico	0,0132	
DTT vs. NOD	0,0012	
PRE vs. SEC	0,7128	0,4911
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).

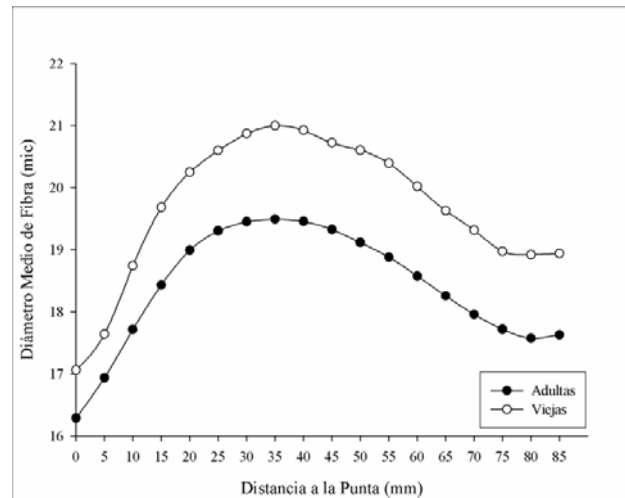


Figura 5: Perfiles promedio de diámetro de fibras según los niveles del factor edad. Referencias: Adultas, hembras de 3 y 4 años de edad; Viejas, hembras de 5 y 6 años de edad.

Figure 5: Fiber diameter profile averages by ages.

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 6 (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 6 – Der.).

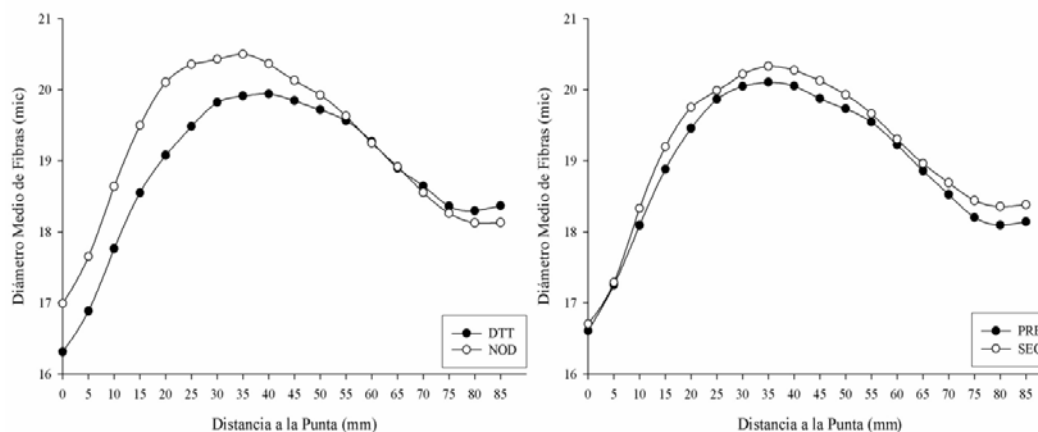


Figura 6: Perfiles promedios de Diámetro de Fibras según los niveles del factor estado fisiológico: grupos NOD - DTT (izquierda) y grupos PRE - SEC (derecha). Referencias: NOD, hembras que no destetaron corderos; DTT, hembras que destetaron corderos; SEC, hembras vacías a la esquila; PRE, hembras preñadas a la esquila.

Figure 6: Fiber Diameter Profile averages by physiological conditions: NOD-DTT groups (left) and PRE-SEC groups (right).

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.

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 resultando en un perfil con valores de diámetro

por debajo del 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.

Bibliografía

- Adams, N.R. and Briegel, J.R. 1998. Liveweight y wool growth responses to a Mediterranean environment in three strains of Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 1187-1193.
- 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.
- 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. 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
- Chapman, R.E. and Wheeler, J.L. 1963. Dye banding: A technique for fleece growth studies. *Australian Journal of Science* 26, 53-54.
- 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.
- Eubank, R. 1999. Nonparametric regression: Smoothing scatterplots. New York, Marcel Dekker.
- Fox, J. 2000. Nonparametric simple regression: Smoothing scatterplots. Thousand Oaks, CA, Sage.
- 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.
- 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.
- 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.
- Laporte y Duga. 1980. Variación estacional del diámetro y ritmo de crecimiento de la fibra de lana. Ediciones INTA.
- Oldham, C.M., Couchman, R.C. and 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.
- Rupert, D., Wand, M.P. and Carroll, R. 2003. Semiparametric regression. Cambridge University Press.
- 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.P. 2010. Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. 1. Estudio comparativo de líneas genéticas. *Rev.Arg.Prod.Anim.* 30, 31-42.
- Sacchero, D., Willems, P. y Mueller, J.P. 2011. Perfiles de diámetro de fibra en lanas preparto de ovejas Merino. 2. Estudio comparativo de estados fisiológicos. *Rev.Arg.Prod.Anim.* 31, 39-50.

- SAS. 2009. SAS/STAT User's Guide. Version 9.0. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- 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. 2011. Sistema de Información de Precios y Mercados; www.minagri.gob.ar/site/ganaderia/ovinos
- 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.
- Wu, H. and Zhang, J. 2006. *Nonparametric regression. Methods for longitudinal data analyses*. New York, Wiley.