



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Agronomía

**Predicción de la calidad de lana mediante
Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo
Cercano (NIRS)**

Memoria presentada como parte de los
requisitos para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

Milena Martina Isabel Alarcón Buhofer

Valdivia – Chile

2012

PROFESOR PATROCINANTE:

Daniel Alomar C
Ingeniero Agrónomo Mg. Sc
Instituto de Producción Animal

PROFESOR INFORMANTE:

Suzanne Hodgkinson
B. Sc., M. Sc., Ph. D.
Instituto de Producción Animal

PROFESOR INFORMANTE:

Ximena Valderrama
Ingeniero Agrónomo Mg. Sc., Ph. D
Instituto de Producción Animal

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	3
1	INTRODUCCIÓN	5
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Lana ovina, mercado, métodos y variables para la evaluación de su calidad	8
2.1.1	Lana ovina	8
2.1.2	Principales razas productoras de lana	9
2.1.3	Situación nacional frente al mercado lanero	10
2.1.4	Parámetros de calidad.	11
2.1.5	Variables lanimétricas	12
2.1.5.1	Diámetro medio de la fibra	12
2.1.5.2	Largo de mecha	13
2.1.5.3	Factor de confort	13
2.1.5.4	Resistencia a la tracción	14
2.1.5.5	Rendimiento al lavado	14
2.2	Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS)	14

2.2.1	Región del infrarrojo	14
2.2.2	Fundamentos de la técnica NIRS	15
2.2.3	Aplicaciones de NIRS en producción animal	15
2.2.4	Ventajas de NIRS	16
2.2.5	Limitaciones de NIRS	16
2.3	Desarrollo de calibraciones para la interpretación del espectro	17
2.4	Criterios de selección de las ecuaciones	17
2.5	Análisis de componentes principales	18
2.6	Validación cruzada	19
3	MATERIAL Y METODOS	20
3.1	Ubicación del estudio	20
3.2	Características de las muestras	20
3.3	Colección de los espectros	21
3.4	Desarrollo de ecuaciones de calibración	21
3.5	Tratamientos matemáticos	21
3.6	Validación de ecuaciones	22
3.7	Criterios para seleccionar ecuaciones	22
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
4.1	Características del conjunto de muestras	23
4.1.1	Características de las muestras separadas por raza: Corriedale y	24

	MPM	
4.2	Descripción de los espectros	25
4.2.2	Diferenciación del espectro promedio de los diferentes genotipos.	26
4.2.3	Diferenciación de los genotipos por componentes principales (PCA)	27
4.3	Ecuaciones de calibración para los diferentes parámetros de calidad	28
4.3.1	Diámetro medio de la fibra (DMF) determinado en NZWTA (<i>New Zeland Wool Testing Authority</i>)	29
4.3.2	Diámetro Medio de la Fibra (DMF) determinado por el Consorcio Ovino	30
4.3.3	Rendimiento al lavado	32
4.3.4	Factor de confort	34
4.3.5	Largo de mecha y resistencia a la tracción	36
5	CONCLUSIONES	38
6	BIBLIOGRAFÍA	40
7	ANEXOS	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estadística descriptiva muestras de lana	23
2	Estadística descriptiva muestras lana Corriedale	24
3	Estadística descriptiva muestras lana MPM	25
4	Mejores ecuaciones para diámetro medio de la fibra con referencia <i>New Zeland Wool Testing Authority</i>	29
5	Mejores ecuaciones para diámetro medio de la fibra con referencia al Consortio Ovino	31
6	Mejores ecuaciones para Rendimiento al lavado	33
7	Mejores ecuaciones de calibración para el factor de confort	35
8	Mejores ecuaciones de calibración para el largo de mecha	37
9	Mejores ecuaciones de calibración para resistencia a la tracción	37

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fibra de lana	9
2	Evolución de las exportaciones de lana	10
3	Cadena agro-industrial de la lana	12
4	Espectros de las 44 muestras de lana y línea promedio	25
5	Espectros promedio para genotipo Corriedale y MPM	27
6	Gráfico tridimensional del Análisis por Componentes Principales	28
7	Relación entre diámetro medio de la fibra determinado en <i>New Zealand Wool Testing Authority</i> y valores predichos por NIRS	30
8	Relación entre diámetro medio de la fibra determinado por Consorcio Ovino y valores predichos por NIRS	32
9	Relación entre Rendimiento al lavado de referencia y valores predichos por NIRS	34
10	Relación entre valores de referencia del factor de confort y valores	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Ecuaciones de calibración para la predicción del diámetro medio de la fibra (DMF) con referencia NZWTA	45
2	Ecuaciones de calibración para la predicción del diámetro medio de la fibra (DMF) con referencia del Consorcio Ovino	46
3	Ecuaciones de calibración para la predicción del rendimiento al lavado	47
4	Ecuaciones de calibración para la predicción del factor de confort	48
5	Ecuaciones de calibración para la predicción del largo de mecha	49
6	Ecuaciones de calibración para la predicción de la resistencia a la tracción	50

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el fin de evaluar la posibilidad de predecir variables económicamente interesantes de lana ovina, mediante el uso de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). Los objetivos específicos fueron: 1) Evaluar variables lanimétricas: diámetro medio de la fibra, resistencia a la tracción, rendimiento al lavado, factor de confort y largo de mecha, por medio de sus espectros (NIRS) y los valores de referencia. 2) Comparar el efecto de diferentes tratamientos matemáticos de los datos espectrales sobre la calidad de las predicciones obtenidas. 3) Comparar y discriminar entre los espectros de lana Corriedale y Merino Multipropósito (MPM).

Las muestras utilizadas provienen de ovejas Corriedale y MPM, 22 muestras de cada genotipo. Para la obtención de los espectros se utilizó un equipo monocromador NIRSystems 6500 y el software WINISI II para la realización de los tratamientos de calibración. Las muestras además fueron analizadas por el Consorcio Ovino, donde fueron evaluadas con un equipo OFDA 2000 y en el laboratorio de *New Zealand Wool Testing Authority* (NZWTA), donde se utilizó *Sirolan Laserscan*, siendo estos los datos de referencia para este estudio.

Se desarrollaron ecuaciones de calibración para las diferentes variables de calidad de lana, en las que se relacionaron los datos espectrales con los de referencia. Utilizando el método de los cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS), se realizaron distintos tratamientos matemáticos y a cada uno de estos se ejecutó dos veces, para probar si aplicar o no una corrección de dispersión de luz (*SNV & Detrend*). Además se hizo una validación cruzada, para lo cual se dividió el set de muestras en 5 grupos. La elección de ecuaciones fue basada en el coeficiente de determinación ($1-VR$), error estándar de validación cruzada (SECV) y la relación $DS/SECV$.

Resultó ser posible predecir tres de los cinco parámetros lanimétricos analizados, los que corresponden: diámetro medio de la fibra (DMF), rendimiento al lavado y el factor de confort. Pero sólo para el DMF con datos de referencia del Consorcio Ovino, se obtuvo una ecuación confiable, con un índice ($DS/SECV$) de 3,23. Para el DMF con referencia NZWTA y rendimiento al lavado, se obtiene un índice ($DS/SECV$) con un valor sobre 2,5, con lo cual, a pesar de no ser ecuaciones confiables, es posible utilizar la técnica NIRS para clasificar grupos de animales, según

rangos para esos parámetros. Para las variables lanimétricas largo de mecha (mm) y resistencia a la tracción (Newton/kilotex) no fue posible realizar una predicción. NIRS se mostró como una herramienta con el potencial de diferenciar entre lana MPM y Corriedale, por la distribución de los espectros y según el análisis de componentes principales.

SUMMARY

This study was carried out to evaluate the possibility of predicting economically interesting variables of sheep wool, through the use of Near Infra Red Spectroscopy (NIRS). The specific objectives were: 1) To evaluate wool metric variables: average fiber diameter, traction resistance, washing performance, comfort factor and staple length using their NIRS spectra and reference values. 2) To compare the effect of different mathematical treatments of the spectra data on the quality of the obtained predictions. 3) To compare and differentiate between the spectra of Corriedale and Multi Purpose Merino Wool (MPM).

Samples from Corriedale and MPM ewes were employed (22 samples of each genotype). A NIRSystems 6500 monochromator was used to obtain the spectra and the WINISI II software for the calibrations. The samples were also analyzed by the *Consortio Ovino* with an OFDA 2000 device, and by the New Zealand Wool Testing Authority (NZWTA) Laboratory with a Sirolan Laserscan, these being the reference data for this study.

Calibrating equations were determined for the different variables of wool quality, in which the spectral data were compared with the reference data. Using the modified partial least squares method (MPLS), different mathematical treatments were carried out, with and without light scatter correction (SNV & Detrend). Also a cross validation was tested for which the sample set was divided into 5 groups. The equation election was based on the determination coefficient ($1-VR$), standard error of cross validation (SECV) and the relation $DS/SECV$.

It was possible to predict three of the five analyzed wool variables, which are: average fiber diameter (DMF), washing performance and comfort factor. But a reliable equation was obtained only for the DMF with the *Consortio Ovino* reference data, with a rate ($DS/SECV$) of 3,23. For the DMF with NZWTA reference and washing performance, the rate obtained ($DS/SECV$) was a value over 2,5. Despite these not being reliable equations, it is possible to use the NIRS technique to rank animals according to these variables. For the variables, staple length (mm) and traction resistance (Newton/kilotex), it was not possible to make a prediction. NIRS was shown

to be a tool with a potential of differentiating between MPM and Corriedale wool, according to the principal components analysis of the spectra.

1 INTRODUCCION

El mercado lanero a nivel mundial hoy en día, presenta una fuerte demanda de lana, la que según los especialistas debiera mantenerse a mediano plazo. Los motivos que generan este escenario, bastante motivador para los productores, es la reducción de la oferta de los principales países exportadores de productos ovinos, el encarecimiento del algodón y el petróleo a nivel mundial, materias primas e insumos necesarios para la creación de bienes sustitutos de la lana.

En el 2011 el análisis del Consorcio Ovino S.A., entidad público-privada, apunta que al referirse al mercado nacional, es necesario mejorar el esquema de comercialización de la lana en la zona central y sur de Chile. En cuanto a la zona austral presenta mayor calidad que en las dos anteriores, pero no están siendo eficientemente producidos ni vendidos. Aunque aseguran que existe un potencial para aumentar la rentabilidad a través de esta fibra, mejorando aspectos de la calidad de la lana.

La ganadería ovina en Magallanes se remonta hacia el año 1876, desde entonces se introdujeron razas y se diseñaron técnicas productivas, usando una modalidad de sistemas extensivos. Pero el agotamiento de los recursos forrajeros y la baja en la productividad que esto conlleva, ha generado que actualmente se esté buscando mejorar la calidad y sustentabilidad del rubro ovino. La sustentabilidad se puede conseguir aumentando la producción individual con animales doble propósito, o bien generar productos de mayor calidad, como por ejemplo obteniendo lanas más finas. En este contexto representantes del sector privado han optado por combinar la genética y la reproducción, para esto se consideró la introducción de nuevos genes (NODO TECNOLÓGICO PECUARIO, 2009). Es de esta forma que se introduce la genética de los Merino Multipropósito (MPM) en Magallanes y llega a competir con el tradicional Corriedale, siendo los MPM reconocidos por sus especiales fibras, entre otras cualidades.

Cuando se habla de calidad de lana, se debe hacer referencia a las propiedades de la fibra, que son importantes en la industria textil. Con la fibra de lana se puede lograr una variedad de productos de muy diversas características, desde prendas muy finas y sutiles, hasta textiles de gran resistencia. Por lo que la calidad va

a estar determinada por el producto final que se quiera conseguir y por las preferencias del consumidor. La característica principal que va a determinar el destino de la lana, es el diámetro medio de la fibra. Otras variables importantes de considerar son el rendimiento al lavado, longitud de la fibra, resistencia a la tracción, factor de confort, color, entre otros.

Debido a las variables que puede presentar la lana, es necesario contar con métodos objetivos que evalúen estas características. El hecho de que la lana sea evaluada objetivamente, es interesante para todos los que forman parte de la cadena de producción de esta fibra, tanto para los productores, compradores y procesadores de lana. De esta forma la comercialización de esta fibra se realiza de manera más objetiva, ya que el productor recibirá un precio justo por su mercancía y los procesadores obtendrán la materia prima que les permita confeccionar los bienes de la calidad que ellos deseen.

La tendencia de los compradores, es a evaluar la lana en una etapa de preventa, es decir, lana sucia. Gracias a métodos de evaluación es posible determinar su valor en el mercado y el rendimiento que tendrá cada lote de lana que sea parte de una transacción. Las técnicas tradicionales de evaluación de características lanimétricas son: Método del microscopio de proyección y método *Air Flow*. Otras técnicas más modernas son el método *Laserscan* y método OFDA (*Optical Fibre Diameter Analyser*).

Aparte de estos métodos de evaluación, sería posible utilizar el método de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS), ya que ésta es una técnica secundaria y requiere valores de referencia, pero tiene grandes ventajas como lo son su rapidez, precisión, versatilidad, bajo costo y no es destructivo ni contaminante. El NIRS está siendo muy utilizado para analizar la composición química y en control de calidad de diversas áreas de la agroindustria.

De lo expuesto anteriormente se desprende la hipótesis y los objetivos de este estudio.

Hipótesis:

El método NIRS permite predecir calidad de lana de razas ovinas, evaluando diferentes variables lanimétricas.

Objetivo general:

Evaluar el uso de la técnica NIRS en su capacidad de predecir variables económicamente interesantes de la lana, utilizando muestras provenientes de ovejas Corriedale y Merino Multipropósito.

Objetivos específicos:

- Evaluar variables lanimétricas, diámetro medio de la fibra, resistencia a la tracción, rendimiento al lavado, factor de confort y largo de mecha, por medio de sus espectros (NIRS) y los valores de referencia.
- Comparar el efecto de diferentes tratamientos matemáticos de los datos espectrales sobre la calidad de las predicciones obtenidas.
- Comparar y discriminar entre los espectros de lana Corriedale y Merino Multipropósito, mediante el análisis de componentes principales.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Lana ovina, mercado, métodos y variables para la evaluación de su calidad

2.1.1 Lana ovina. Es una producción pilosa propia de la piel de los ovinos, que se origina en los folículos; aunque no es exclusiva de esta especie. Su crecimiento se inicia en la vida fetal y continua durante todo el desarrollo, teniendo variaciones según las condiciones en que se encuentre el animal. Su rol es proteger a los ovinos de los agentes del medio ambiente, sirviéndoles de protección y abrigo. La naturaleza de la lana es compleja, ya que los folículos lanosos, tienen una estructura que responde a principios histológicos y fisicoquímicos. Las características del crecimiento están regidas por factores hereditarios, es decir, genotípicos; pero al mismo tiempo, están expuestas a la acción modificadora del medio ambiente, a los cambios de nutrición y las enfermedades. Estas al actuar sobre el organismo animal, influyen el funcionamiento de los folículos, produciendo reacciones que se traducen con notable veracidad sobre las fibras en el momento de su producción (HELMAN, 1952).

Según lo indicado por la *International Wool Textile Organisation (IWTO)* (2012), la lana es una fibra natural que posee dos cualidades muy valoradas en la industria textil, es sustentable y biodegradable. El uso de esta fibra se remonta a más de 10.000 años, demostrando su potencial para adaptarse y cumplir los requisitos de los consumidores finales, en diversos escenarios. Al ser una fibra natural, posee cualidades como ser renovable, sustentable, biodegradable, de bajo impacto ambiental y eficiente en el uso de energía. Por otra parte las prendas confeccionadas con lana, son seguras, debido a que es un retardante del fuego, protege de los rayos ultravioletas, reduce la electricidad estática y otorga resistencia térmica. Además tiene características que favorecen la salud, esto gracias a que es una fibra que respira, controla la humedad, es poco alérgica, absorbe tóxicos químicos y reduce el sonido. Las propiedades de la lana son la consecuencia de la composición de sus fibras, lo que se puede observar en la Figura 1.

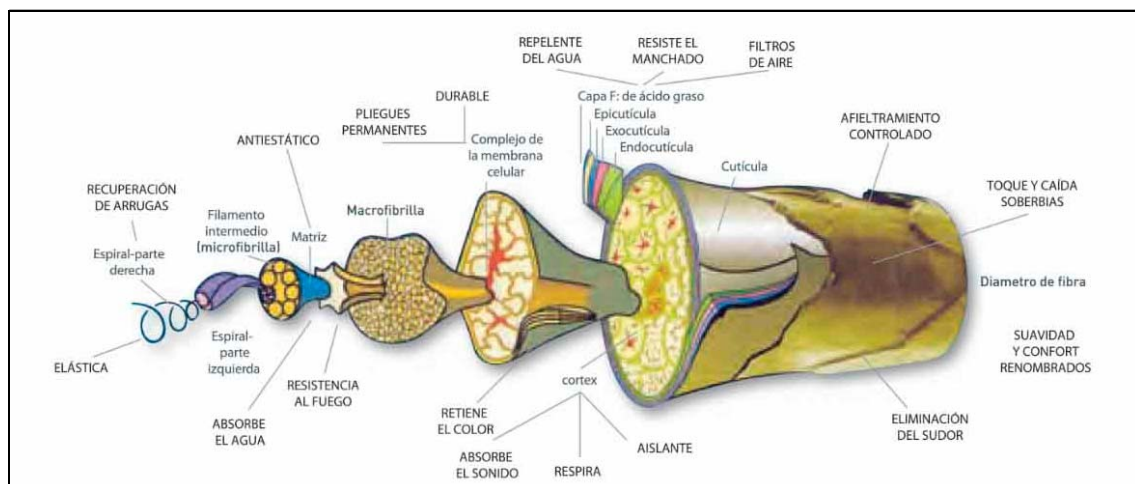


FIGURA 1 Fibra de lana.

FUENTE: IWTO, 2012.

2.1.2 Principales razas productoras de lana. Las principales razas ovinas productoras de lana y segregadas según el tipo de fibra que producen, son las siguientes:¹

Lana fina: Merino Español, Merino Australiano y Ramboulliet.

Lana larga: Leicester longwool, Lincoln y Wensleydale.

Lana carpet: Welsh Mountain, Awassi, Scottish Blackface y Karakul.

En este estudio se utilizarán muestras de lana que provienen de ovinos Corriedale y Merino Multipropósito. La raza Corriedale fue formada por medio de cruzamientos en la isla sur de Nueva Zelanda, el propósito fue lograr una oveja más robusta que el Merino y que a su vez produjera un vellón amplio pesado y de mechas más largas. Se buscaba conseguir un equilibrio entre carne y lana (ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CRIADORES CORRIEDALE, 2007). Corriedale corresponde a la raza usada tradicionalmente en la Patagonia chilena, desde 1945 este genotipo corresponde la principal raza ovina criada en la región de Magallanes (FUNDACIÓN CHILE, 2002).

¹ ALOMAR, D. (2011). Ing. Agr. Mg.Sc. Instituto de Producción Animal, Universidad Austral de Chile. Comunicación personal.

Mientras que el Merino Multipropósito (MPM), es un biotipo de Merino originado en Australia con el objetivo de maximizar la ganancia por oveja a través de una redefinición del concepto del doble propósito. Obteniendo una producción de lanas superfinas de alta calidad y a su vez un aumento de la producción carnicera en un mismo animal. Los MPM destacan por su alta densidad y largo de fibras, lo que lo convierte en un animal que tiene un rendimiento superior al Merino promedio (más largo de fibra y menor coeficiente de variación del diámetro). Por otra parte, se sostiene que su rusticidad y precocidad permite obtener un beneficio carnicero superior al Corriedale promedio (mayor fertilidad, velocidad de crecimiento y menor contenido de grasa), (BORRELLI *et al.*, 2009).

2.1.3 Situación nacional frente al mercado lanero. En Chile, en el año 2010 se marca un hito en las exportaciones de lana, ya que se alcanza los niveles obtenidos en 1995, donde se tiene un *peak* de las exportaciones totales de lana evaluado en miles de dólares. En ambos años, 1995 y 2010, se superan los 20 millones de USD\$. Y por lo demás se presenta un alza de las exportaciones en los últimos 10 años. Esto es posible observarlo en la Figura 2.

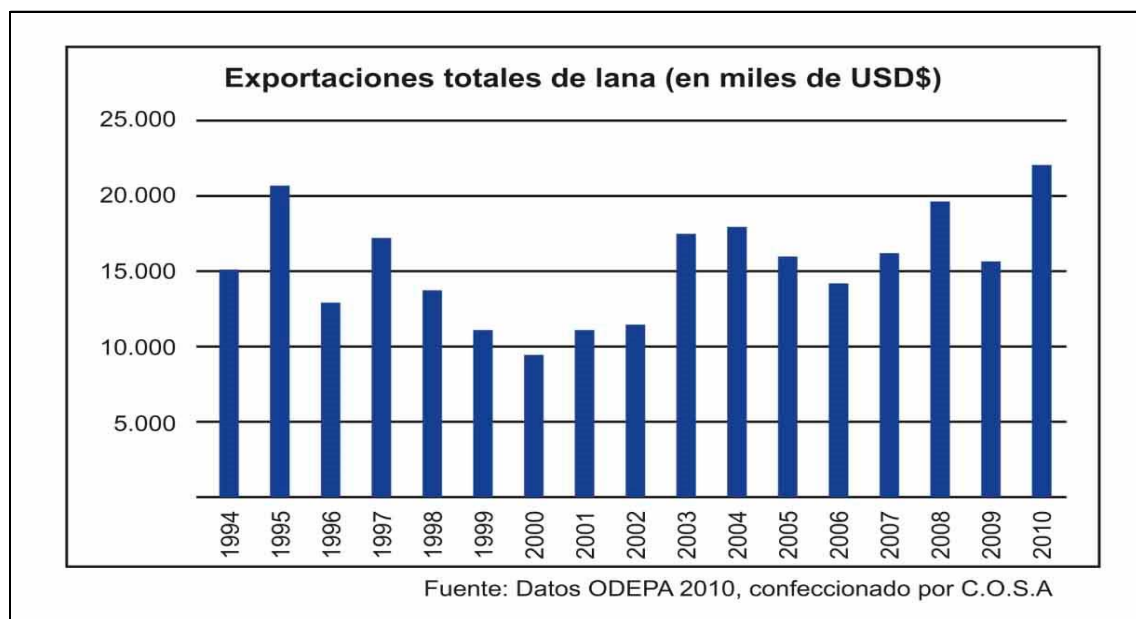


FIGURA 2 Evolución de las exportaciones de lana.

FUENTE: CONSORCIO OVINO, 2010.

Según los especialistas existe una fuerte demanda de lana a nivel mundial, la que se espera se mantenga durante el mediano plazo, esto se debe a la reducción de la oferta de los principales países productores exportadores de productos ovinos, el encarecimiento del algodón y el petróleo a nivel mundial (CONSORCIO OVINO, 2010). En esta situación el mercado lanero se ve cada vez más interesante para nuestro país.

2.1.4 Parámetros de calidad. Al referirse a la calidad de la lana necesariamente se debemos mencionar las propiedades de la fibra que son importantes en la industria textil. La principal característica que determina cuál es el producto final a confeccionar, es el diámetro de fibra. Las lanas finas se destinan a vestimenta, mientras que las más gruesas tienen como destino tejidos más pesados, como resistentes alfombras. Las lanas con menor diámetro de las fibras permiten realizar un hilo muy delgado y con este obtener telas con un excelente acabado, con la que se confeccionan prendas de muy alto valor. Es así que se define como una lana fina de buena calidad, a aquella que sea sana, con un adecuado desarrollo o largo de mechales, sin debilidades en su crecimiento, con baja variabilidad en sus características y reducidos niveles de contaminación (LATORRACA, 2005).

Por lo tanto es posible decir, que la calidad de la lana va a estar directamente relacionada por el producto que se desee conseguir y las preferencias del consumidor o destinatario. Ya que puede variar desde una prenda muy fina, hasta alfombras o textiles de interior donde la calidad va a ser mayor mientras más resistente y gruesa sea la fibra (FREY, 2007).

Esto se logra partiendo desde la materia prima, donde los factores que influyen son el ambiente, la producción y el tipo de cosecha o esquila de la lana. Este es el proceso que se puede observar en la Figura 3, donde cada punto de la cadena agro-industrial es de gran importancia para llegar a un producto final de buena calidad. Según las características de la lana sucia se le otorgarán diferentes destinos y éste va a estar influenciado por las propiedades físicas de lana y características del vellón.

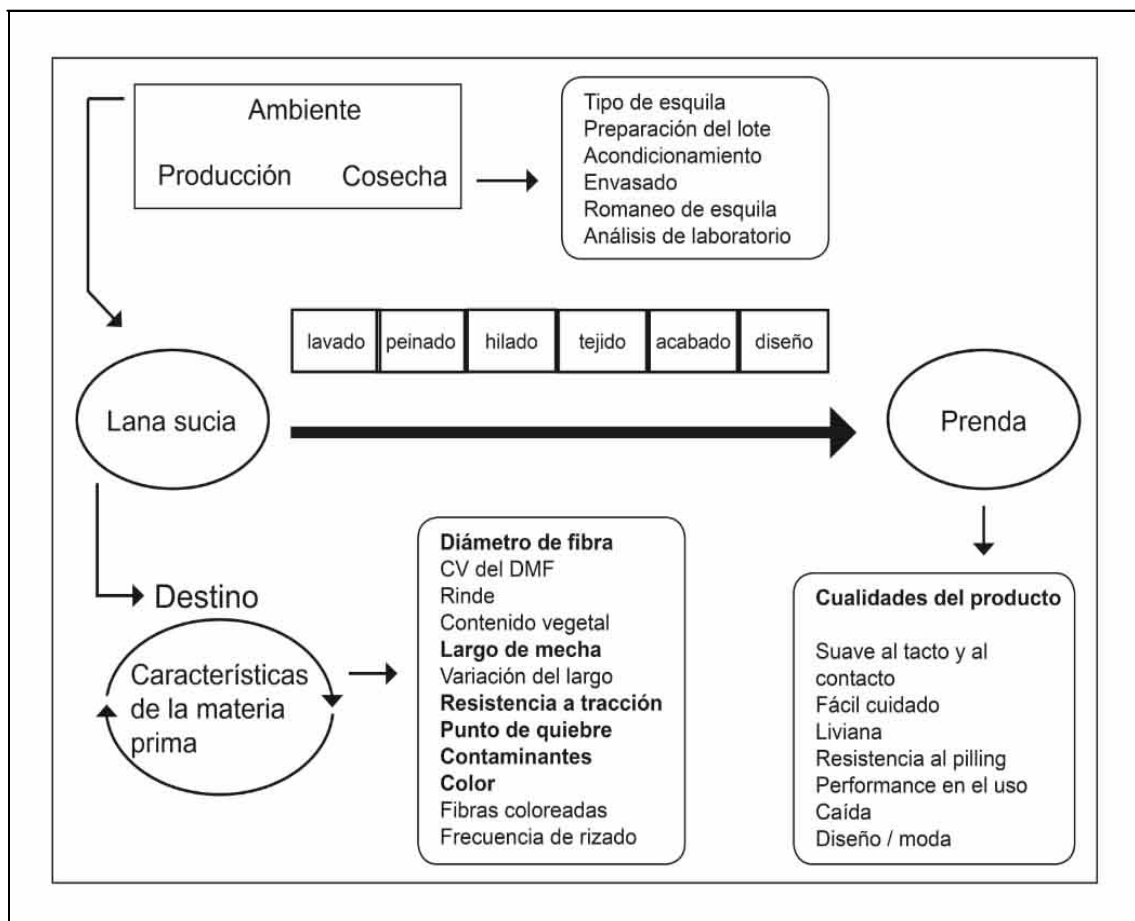


FIGURA 3 Cadena agro-industrial de la lana

FUENTE: Adaptado de FREY, 2007.

2.1.5 Variables lanimétricas. Las variables lanimétricas se pueden dividir entre las propiedades físicas de la lana y las características del vellón. Dentro de las propiedades físicas encontramos: diámetro medio de la fibra, largo de mecha, resistencia a la tracción, extensibilidad, elasticidad e higroscopicidad. Y en las propiedades del vellón: densidad, compactación, impurezas del vellón, rendimiento al lavado y pureza del vellón (BUXADE, 1996).

2.1.5.1 Diámetro medio de la fibra. La medición de diámetro de fibra es aceptada universalmente como la especificación de finura para lana sucia. La unidad de medida de este parámetro está dado en micras (μm). Los certificados de finura garantizan las transacciones de lana sucia y es usado por la industria topista para predecir la finura

de los tops (lana peinada). El Diámetro Medio de la Fibra (DMF) es el principal determinante del precio de la lana, debido a su influencia en la capacidad de producción de hilados y su naturaleza, tacto y toque de las prendas producidas con ellas. El diámetro de fibra de la lana puede ser medido usando diferentes tecnologías (SACHERO, 2005; ELVIRA, 2005):

- Microproyección
- *Airflow*
- OFDA
- *Sirolan Laserscan*

El Microscopio de proyección es el único equipo que se calibra con unidades de referencia de longitud y no con lanas estándar. Por otra parte *Airflow*, *Laserscan* y OFDA deben ser calibrados usando lanas estándar. Por lo tanto estos últimos representan sistemas secundarios. Según lo señalado por SACHERO (2005), la ventaja de los sistemas calibrados es que otorgan mediciones más precisas ya que la variabilidad entre instrumentos es considerablemente menor que la variabilidad entre operarios en el microscopio de proyección (SACHERO, 2005).

Se vuelve interesante probar la técnica NIRS en la evaluación de lana, ya que ésta es un método de calibración y un sistema secundario, al igual que las otras técnicas antes mencionadas. La importante diferencia que presenta NIRS por sobre *Airflow*, *Laserscan* y OFDA, es su potencial para evaluar muestras de múltiples orígenes y no solo fibras.

2.1.5.2 Largo de mecha. El largo de mecha (LM) es usado normalmente en las apreciaciones comerciales para pronosticar la longitud promedio de fibras en los *tops* o *hauteur*, siendo esta característica de gran importancia porque permite establecer su destino industrial. Su unidad de medida es en milímetros (mm) (SACHERO, 2005). Según la NZWTA citado por KUSANOVIC (2012), la altura media probable o *Hauteur* corresponde a una estimación del largo de mecha en el *top*, luego de ser lavada, peinada y cardada.

2.1.5.3 Factor de confort. El factor de confort (FC) es un indicador de la proporción de fibras menores a 30 micras (μm) de diámetro. Las investigaciones demostraron que no solo una excesiva cantidad de fibras mayores de 30 micras era importante sino que

también lo era el diámetro de los extremos de las fibras. El prurito provocado por los tejidos, se explica por el grosor de los extremos de las fibras que sobresalen desde la superficie de los hilos. Si esas fibras son relativamente gruesas, son menos flexibles y cuando tienen contacto con la piel provocan una sensación de picazón. Sin embargo, si en el extremo de esas fibras son más delgadas y por lo tanto más flexibles, es menos probable que provoquen picazón (SACHERO, 2005). La NZWTA utiliza el porcentaje de fibras mayores a 30 micras, por lo que los resultados de las muestras analizadas fueron entregados de manera diferente, pero representan exactamente lo mismo.

2.1.5.4 Resistencia a la tracción. Este parámetro tiene influencia sobre el *hauteur* y en la proporción de pérdida de fibras en las cardas. Se mide en Newtons/kilotex, donde el Newton (N) es una unidad de fuerza o carga y kilotex es la densidad lineal de una mecha o un sliver (gr/cm) (SACHERO, 2005). Si la lana posee baja resistencia (<30 N/Ktex) y tiene un alto porcentaje de quiebre hacia el medio de la mecha, esto provoca una disminución en el largo final de los tops y en consecuencia un menor precio (ELVIRA, 2005).

2.1.5.5 Rendimiento al lavado. Expresa el porcentaje de peso de lana limpia, es decir, libre de suarda, tierra, y cualquier otro material que se remueva con el lavado que puede obtenerse de una unidad de masa de lana sucia (RODRÍGUEZ, 2007).

2.2 Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS)

2.2.1 Región del infrarrojo. Según lo señalado por MORCILLO (1974), la región infrarroja es una determinada zona de la radiación electromagnética, ubicada más allá de la parte roja de la región visible. Al igual que todas las radiaciones electromagnéticas, la radiación infrarroja es un movimiento ondulatorio, formado por un campo eléctrico oscilante, perpendicular a la dirección de propagación, y un campo magnético oscilante, con la misma frecuencia y perpendicular al campo eléctrico. Por lo tanto, la radiación infrarroja puede caracterizarse tanto por esta frecuencia de oscilación, ν , como por la longitud de onda, λ .

2.2.2 Fundamentos de la técnica NIRS. La palabra “espectroscopia” deriva de la raíz latina *spectrum*, lo que significa apariencia o imagen y de la palabra griega *skopia*, que significa ver. En términos generales, esta técnica involucra transferencia de energía entre la luz y la materia (MILLER, 2001). Se basa en la quimiométrica, lo que involucra la aplicación de las matemáticas a la química analítica. Esta técnica combina la espectroscopía, la estadística y la computación, para lograr crear modelos matemáticos que relacionan la composición química de las muestras con los cambios de energía en el rango del infrarrojo cercano (VÁSQUEZ et al, 2004).

El método utiliza la región del infrarrojo cercano, de longitudes de onda entre los 700 y 2500 nanómetros (nm) del espectro electromagnético. Este método se basa en que, cuando la luz (radiación) incide sobre una muestra, una parte de los fotones se transmite a través de la misma, otra parte de estos es reflejada y el resto absorbida. La absorción de energía por la muestra, se produce en los enlaces entre Carbono e Hidrógeno (C-H), Oxígeno e Hidrógeno (O-H) y Nitrógeno e Hidrógeno (N-H); siendo estos los principales constituyentes de la estructura básica de las sustancias orgánicas, se manifiestan por medio de vibraciones en distintas formas. La interacción de la energía con la materia obedece a la ley de *Beer-Lambert*, que establece que la absorbancia a cualquier longitud de onda es proporcional al número o concentración de moléculas absorbentes presentes en el camino recorrido por la radiación (COZZOLINO, 2002; WELLS, 2006).

La absorción de luz se estima con la diferencia entre la luz incidente y la reflejada o transmitida. En el modo de reflexión, la absorbancia corresponde al $\log 1/R$ (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998), donde R corresponde a la energía reflejada.

Esto determina que para un material de naturaleza química heterogénea, es decir, con variados componentes químicos, el espectro obtenido en la región del infrarrojo cercano sea una combinación de bandas de absorción parciales sobrepuestas o muy cercanas, que suelen confundirse en una línea suavizada, en que se encuentran picos, valles y curvaturas en forma de hombros (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998), lo que es posible de interpretar sólo con la ayuda de un computador.

2.2.3 Aplicaciones de NIRS en producción animal. NIRS es una técnica secundaria o alternativa a los métodos químicos y químicos-biológicos tradicionales, tiene un buen

potencial para obtener estimaciones seguras y muy rápidas de la composición química nutricional de forrajes y así como también productos de variadas índoles. Esta técnica ha sido muy utilizada para evaluar la composición, monitorear procesamiento y certificar calidad de los alimentos para animales y humanos (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

Según la empresa NIRSOLUCIONES (2009), se ha desarrollado con éxito aplicaciones para análisis de diversas áreas del sector agroalimentario. En cuanto a alimentación animal, se realiza control de humedad, proteína, grasa, fibra, cenizas, almidón, aminoácidos, porcentaje de ingredientes, etc., en todas las materias primas y productos acabados. Como por ejemplo: cereales, forrajes, grasas y aceites, mezclas especiales, concentrados, piensos compuestos y subproductos en general. En el sector cárnico, se realizan análisis de humedad, proteína, grasa, perfil de ácidos grasos, autenticación de productos, entre otros, esto se realiza en diferentes tipos de carnes, embutidos y jamones. Y en el sector lácteo, las industrias lecheras pueden controlar la calidad de todos sus productos, evaluando: sólidos totales, grasa, proteína total, caseína, lactosa, recuento de células somáticas, bacterias totales, adulteraciones, etc. Esto se analiza en leche, queso, suero de quesería, yogurt, entre otros derivados de la leche.

2.2.4 Ventajas de NIRS. Este método se caracteriza por ser no destructivo, rápido, de gran precisión y exactitud, siempre que se sigan los procedimientos adecuados para generar las ecuaciones de predicción requeridas (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

Dentro de las ventajas de esta técnica, también se identifican su bajo costo, consumo de poco tiempo, mínimo pre-tratamiento de las muestras y no necesita reactivos químicos para el análisis (CELERINO, 2008).

Según lo indicado por VÁSQUEZ y MAYORGA (2005), las ventajas de NIRS la convierten en una técnica ideal para proceso de mejoramiento y selección de materiales agrícolas y de producción pecuaria.

2.2.5 Limitaciones de NIRS. Las principales limitaciones o desventajas de esta técnica, son los altos costos de inversión en las etapas iniciales, para la adquisición del equipo y también la calibración de éste. Debido a que NIRS es una técnica secundaria,

requiere de datos de referencia para su calibración, los que corresponden a métodos de análisis tradicionales que deben estar disponibles (WELLS, 2006).

2.3 Desarrollo de calibraciones para la interpretación del espectro

Es necesario realizar calibraciones, para estimar la composición química de una muestra. Y para esto se requiere un conjunto amplio de muestras que sean representativas de una población, las cuales deben ser analizadas por medio de un método confiable de referencia y luego coleccionar sus espectros. De esta forma se puede realizar la calibración, donde se relacionan los datos espectrales con los valores de referencia (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998). Estos datos se relacionan por medio de la aplicación de modelos estadísticos como la regresión múltiple o regresión por métodos multivariados, como componentes principales o los cuadrados mínimos parciales (CELERINO, 2008).

MURRAY (1988), señala que el set de muestras utilizadas en una calibración debe cumplir con ciertas características ideales:

- Representar un rango amplio de composiciones o calidades.
- Poseer una distribución uniforme con respecto a la población total.
- Ser típicas de las que se encuentren en la realidad.
- Contar con los datos precisos de su composición analítica.

Para obtener mayor precisión en la calibración, los datos espectrales son transformados a la primera o segunda derivada, o bien calculando la desviación de cada espectro de la media del espectro. Por medio de estos tratamientos es posible reducir las variaciones en los espectros debidas a la humedad y el tamaño de las partículas entre muestras (CELERINO, 2008).

2.4 Criterios de selección de las ecuaciones

Existen criterios para seleccionar el modelo más adecuado en una evaluación NIRS, los cuales se basan en procedimientos matemáticos y estadísticos, con el objetivo de obtener estimaciones más exactas de los valores predichos y controlar los aspectos de la calibración y validación (CANAZA, 2009). Para cada variable que se desee predecir se obtendrán numerosas ecuaciones, esto debido a los diversos tratamientos matemáticos y técnicas de regresión que se pueden realizar. Por lo tanto es necesario seleccionar la ecuación que se considere más confiable, los criterios utilizados para

esto, corresponden a la ecuación que posea un coeficiente de determinación (R^2) elevado y el error estándar de calibración (SEC) bajo (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum (y - x)^2}{(n_c - t - 1)}}$$

Donde y corresponde al valor de referencia (laboratorio), x es el valor predicho por NIRS, n_c es el número de muestras en el set de calibración y t es el número de términos en la ecuación de regresión.

La validación externa es el proceso que se realiza utilizando muestras que no fueron parte del set de calibración, para las cuales se determina el coeficiente de determinación y un error estándar de predicción, o *performance* (SEP) (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (y - x)^2}{n_v - 1}}$$

Donde x e y son iguales que en SEC y n_v corresponde al número de muestras en el set de validación.

El SEP es un indicador confiable de la calidad de la ecuación desarrollada y este siempre será mayor que el SEC. Como criterio general se dice que una ecuación es aceptable cuando la magnitud del SEP es menor a un tercio de la desviación estándar de los datos de referencia (ALOMAR y FUCHSLOCHER, 1998).

2.5 Análisis de componentes principales

El objetivo de muchos de los análisis multivariados, es la reducción de datos. Esta no es la excepción, el análisis de componentes principales (ACP o PCA, según las siglas en inglés), es una técnica para reducir la cantidad de datos cuando existe correlación entre ellos. Es decir, no es una técnica útil cuando las variables no están correlacionadas. Lo que se busca, es encontrar componentes principales, que sean combinaciones lineales de las variables originales que describen a cada muestra. Los espectros se caracterizan por poseer cientos de medidas de intensidad, por lo que la matriz de correlación tiene muchos valores (MILLER y MILLER, 2002).

Los componentes principales se eligen de manera que la primera componente principal (CP1), recoge la mayor parte de la variación que hay en el conjunto de datos,

la segunda (CP2), que es independiente de la primera, recoge la segunda mayor parte de la variación y así sucesivamente. Por lo tanto, cuando exista correlación significativa, el número de componentes principales útiles será mucho menor que el número de variables originales (MILLER y MILLER, 2002).

2.6 Validación cruzada

Según lo señalado por INTRASOFT INTERNATIONAL (1992), la validación cruzada consiste en dividir el grupo de muestras de calibración en subgrupos, los que son utilizados secuencialmente como muestras externas. De esta forma se logra validar la ecuación desarrollada a partir de los demás grupos.

Al realizar la validación cruzada, los resultados se expresan como coeficiente de determinación ($1-VR$) y error estándar de validación cruzada (SECV). Siendo el SECV correspondiente al desvío de los valores predichos respecto de los valores de referencia y en la medida que se le incorporan nuevos términos, va disminuyendo, pero sólo hasta que la ecuación comienza a ser sobreajustada. El SECV, es un excelente indicador de la exactitud de predicción, debido a que el cálculo se hace en base al promedio de varios grupos, considerándose aceptable un SECV menor o igual a un tercio de la desviación estándar de los valores de referencia (Shenk y Westerhaus, 1993; Kennedy et al, 1995, citados por BEYER, 1997).

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

El presente estudio fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal, perteneciente al Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia. El periodo de ejecución fue entre Agosto y Diciembre de 2011.

3.2 Características de las muestras

Las muestras de lana que se utilizaron son provenientes de ovinos de raza Merino Multipropósito y Corriedale (22 muestras de cada raza), estas 44 ovejas de tres años fueron criadas en Estancia Cerro Negro ubicada en el kilómetro 187 de la ruta nacional número 9, en la Región de Magallanes y Antártica Chilena. Donde fueron parte de un estudio de comparación de variables productivas entre estas dos razas.

Las muestras de lana fueron tomadas del costillar de los animales, en el sexto espacio intercostal a la altura del segundo tercio de la costilla, de modo que equivalga al promedio del vellón. Luego cada muestra fue introducida en bolsitas de polipropileno y detalladas con el número de identificación de cada oveja y la raza de esta misma.

Para cada muestra se crearon sub muestras y de esta forma se obtuvo la información que para este estudio corresponden a los datos de referencia, los cuales fueron examinados por métodos tradicionales de predicción de calidad de lana, en Punta Arenas y en Nueva Zelandia. Las muestras fueron estudiadas en el laboratorio certificado *New Zeland Wool Testing Authority* (NZWTA), donde fueron evaluadas por medio de *Siroloan Laserscan*, técnica que consiste en medir con un scanner la sombra proyectada de las fibras individuales que se encuentran suspendidas en una mezcla de alcohol y agua, frente a un rayo laser. Mientras que, el Consorcio Ovino en Punta Arenas evaluó la lana a través del equipo OFDA 2000, este instrumento es un analizador óptico del diámetro de fibra, que se basa en la digitalización de imágenes y el análisis de las fibras individualmente. Ambos quipos, *Siroloan Laserscan* y OFDA 2000 utilizan programas computacionales para el análisis de las imágenes. Por otra

parte existen las sub muestras que fueron usadas para coleccionar sus espectros por medio del método NIRS. Los parámetros evaluados para cada muestra fueron: diámetro medio de la fibra, rendimiento al lavado, resistencia, factor de confort y largo de mecha.

3.3 Colección de los espectros

A cada una de las 44 muestras de lana se les coleccionó el espectro en triplicado, para luego almacenar el espectro promedio. La preparación consistió en insertar la lana, en cápsulas circulares metálicas, de 35 mm de diámetro y 10 mm de espesor con ventana de cuarzo. Se puso de modo que quedaran ambos extremos de las fibras visibles. Luego se coleccionaron los espectros en la región visible y del infrarrojo cercano (400-2500 nm) en un equipo monocromador NIRSystems 6500. Se usó un módulo de rotación, lo que permite que el espectro sea coleccionado en un área más amplia de la muestra, mientras ésta gira. De esta forma, al ingresar una muestra al equipo, ésta fue “escaneada” 32 veces y las lecturas fueron tomadas cada 2 nanómetros.

Se forma un espectro de absorción, debido a que las moléculas absorben energía dependiendo del tipo de enlace. Se crea un espectro de absorción en el rango visible y en el infrarrojo cercano, único para cada muestra. Los espectros fueron almacenados como valores de microabsorbancia ($\log 1/R$), donde R corresponde a la energía reflejada.

3.4 Desarrollo de ecuaciones de calibración

Para realizar las ecuaciones de calibración se utilizó el *software* WINISI II de *Infrasoft International*, donde se contaba con un archivo en el cual estaban los espectros de las muestras de lana analizadas, al que se le agregaron los datos de referencia, que fueron obtenidos por métodos tradicionales de análisis para variables de calidad lanimétrica.

3.5 Tratamientos matemáticos

Para encontrar la mejor ecuación, se sometieron los espectros a varios tratamientos matemáticos, intentando las mejores combinaciones, lo que se logró por medio de ensayo y error. El tratamiento matemático se describe mediante cuatro cifras, la primera corresponde al orden de diferenciación: *Derivative*, donde se probó con una

primera y una segunda derivada o sustracción de los datos espectrales a intervalos definidos. La segunda cifra corresponde al intervalo de sustracción (*Gap*): cuatro, ocho y doce puntos de datos (de 2 nm cada uno), fueron los valores utilizados. El tercer y cuarto número corresponden al primer y segundo segmento de suavización (*Smooth*). Para el primer *smooth* se intentó con cuatro, ocho y doce puntos de datos; mientras que para el segundo *smooth* se mantuvo en un punto de dato.

Además, se evaluó si aplicar o no un tratamiento de corrección de dispersión de luz (*Scatter correction*). Para esto los espectros se sometieron al método combinado de la varianza normal estándar (SNV) y el método “*Detrend*”, “*SNV & detrend*”. Se utilizó el método de regresión de los cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS), método que es calificado como más estable y preciso, ya que estandariza cada factor calculado, dividiéndolo por el valor residual promedio, esto previo al cálculo del próximo factor. Este método multivariado utiliza toda la información espectral (longitudes de onda) y los valores de laboratorio para formar la ecuación de regresión (WELLS, 2006).

3.6 Validación de ecuaciones

La validación se realizó por medio del método validación cruzada, donde el set de muestras fue dividido en cinco grupos, dejando siempre uno fuera para ser predicho mediante la ecuación desarrollada por los demás. Este proceso fue repetido para cada uno de los grupos, y se calculó la certidumbre e incertidumbre promedio, a través del coeficiente de determinación de calibración (R^2) y el error estándar de validación cruzada (SECV).

3.7 Criterios para seleccionar ecuaciones

El criterio que se consideró más importante fue el error estándar, donde se observa la desviación de los valores predichos (y) por medio de NIRS, en relación a los valores de referencia (x). Para esto se utilizó el error estándar de la validación cruzada (SECV).

Se seleccionó la ecuación que tenía un menor SECV y complementariamente, aquella en que la relación entre la desviación estándar de los datos de referencia y el SECV fuese mayor.

Según lo señalado por MURRAY (1988), un índice DS/SECV superior o igual a tres, se considera como una ecuación confiable.

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Características del conjunto de muestras

En el Cuadro 1, se observan los datos de referencia que se utilizaron para este estudio. Corresponden a valores obtenidos en el laboratorio de Nueva Zelandia (*New Zeland Wool Testing Authority*, NZWTA) y el Consorcio Ovino en Magallanes. Estos son los resultados para el grupo de las 44 muestras, de las cuales 22 corresponden a la raza Corriedale y 22 a la raza MPM. Esto le otorga una mayor distribución al set de muestras, lo cual es beneficioso para realizar una calibración.

CUADRO 1 Estadística descriptiva muestras de lana

	N° muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
DMF NZ (μm)	44	17,1	34,6	25,96	5,43
DMF CO(μm)	44	17	34,1	25,34	5,08
Rendimiento al lavado NZ (%)	44	65,5	88,3	81,05	4,61
Resistencia NZ (Newton/kilotex)	44	14	65	41,43	11,48
FC NZ (%< 30 μm)	44	25,8	99,9	71,34	26,77
Largo NZ (mm)	44	63	134	98,57	13,52

Del laboratorio de Nueva Zelandia se obtuvo diámetro medio de la fibra (DMF), rendimiento al lavado, resistencia a la tracción, factor de confort (FC) y largo de mecha. Por su parte, el Consorcio Ovino entregó el valor de DMF.

Es importante señalar que ambos métodos de análisis, *Sirolan Laserscan* y OFDA 2000 obtuvieron cifras similares para el DMF, pero aun así se utilizaron los dos parámetros para evaluar si alguno de los dos se ajusta mejor en algún modelo de calibración.

4.1.1 Características de las muestras separadas por genotipo: Corriedale y MPM.

En los Cuadros 2 y 3, se puede observar por separado las características evaluadas para cada raza. El conjunto de muestras MPM presenta un menor DMF, siendo mejor que la raza Corriedale, con aproximadamente 10 micras menos. En cuanto al rendimiento al lavado, MPM obtiene 3,3% más. Por otra parte, la lana Corriedale se muestra superior en la resistencia a la tracción, resistiendo 5,86 (newton/kilotex) más que MPM. Finalmente, en el factor de confort se observa una gran diferencia, siendo superior MPM en 51,67 (% <30 μ m).

Con respecto al diámetro medio de la fibra, la media de las muestras Corriedale, está dentro del rango establecido por la Asociación Argentina de Criadores Corriedale, rango que oscila entre 27 y 32 micras. Según lo indicado por Ovis XXI, los MPM poseen un micronaje que va entre 19 a 20 micras, por lo que la media de las muestras MPM, están por sobre este rango por menos de una micra.

CUADRO 2 Estadística descriptiva muestras lana Corriedale

	N° muestras	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
DMF NZ (μ m)	22	26,7	34,6	30,97	2,08
DMF CO (μ m)	22	26,6	34,1	30,07	1,89
Rendimiento al lavado NZ (%)	22	65,5	86,9	79,41	4,90
Resistencia NZ (Newton/kilotex)	22	20	62	44,36	10,59
FC NZ (%<30 μ m)	22	25,8	67,65	44,82	10,78
Largo NZ (mm)	22	76	134	98,64	12,28

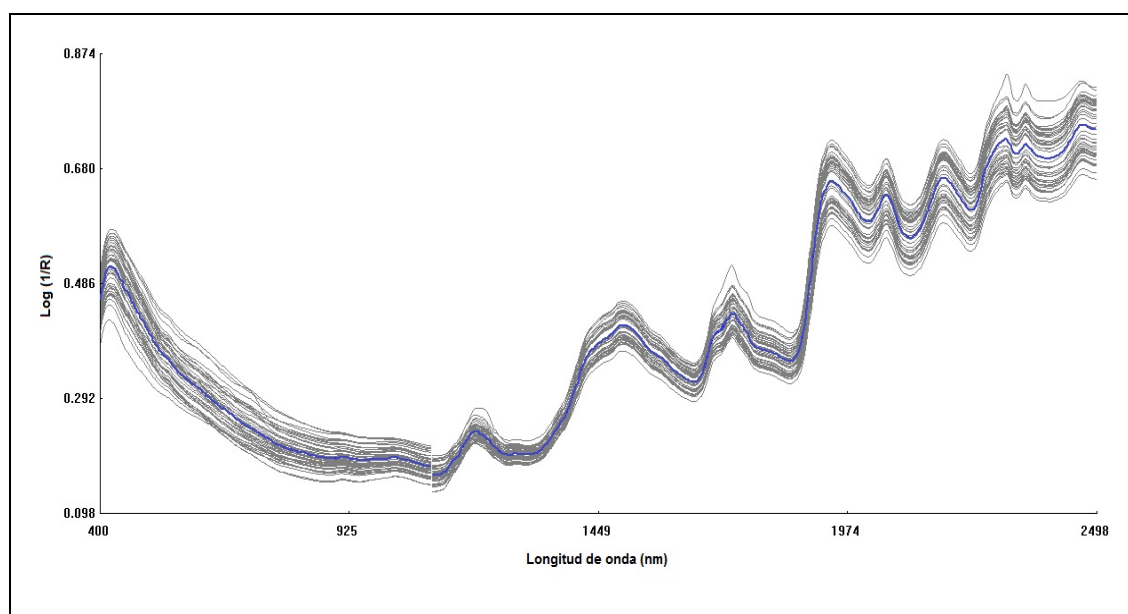
Según lo realizado por KUSANOVIC (2012), para este grupo de muestras existen diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) en cuanto al rendimiento al lavado y el diámetro medio de la fibra; esto último tanto en los resultados del Consorcio Ovino como del laboratorio en Nueva Zelandia.

CUADRO 3 Estadística descriptiva muestras lana MPM

	N° muestras	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
DMF NZ (μm)	22	17,1	24,3	20,95	1,8552
DMF CO (μm)	22	17	22,7	20,60	1,49
Rendimiento al lavado NZ (%)	22	73,6	88,3	82,70	3,71
Resistencia NZ (Newton/kilotex)	22	14	65	38,50	11,82
FC NZ ($\% < 30\mu\text{m}$)	22	85,2	99,9	96,49	4,12
Largo NZ (nm)	22	63	121	98,50	14,95

4.2 Descripción de los espectros

En la Figura 4 es posible observar el conjunto de espectros obtenidos de las 44 muestras de lana. Existen diferentes picos y hombros de absorción, los que hacen referencia a diversos componentes propios de la fibra de lana, esto se produce debido a que los enlaces químicos absorben la radiación a diferentes longitudes de onda. En color azul, se presenta el promedio para este set de muestras.

**FIGURA 4 Espectros de las 44 muestras de lana y línea promedio**

En la longitud de onda de 1190-1200 nm se observa una absorción en los enlaces C-H en el segundo sobretono y en un hombro de absorción a los 1692 nm por estiramiento entre los enlaces C-H, relacionado con el primer sobretono, lo que corresponde a un grupo funcional metil (CH_3) y es de carácter hidrófobo.

Se detecta presencia de un grupo funcional amino (RNH_2) en la longitud 1528-1534 nm hay absorción en los enlaces N-H, relacionado con el primer sobretono.

Se observa presencia de lípidos en las longitudes 1720-1724nm, 1758-1764 nm, 2344-2348 nm por absorción en los enlaces C-O.

Presencia de agua desde la longitud de onda 1936–1944 nm por absorción en los enlaces O-H, relacionado con el segundo sobretono.

Se muestran proteínas en los siguientes segmentos del espectro 2050–2064 nm, 2176-2186 nm y 2296-2306 nm por absorción en los enlaces de N–H y C-H relacionado con el segundo sobretono y en 2466-2474 nm absorción en C-N-C en el primer sobretono. A los 1508 nm hay absorción en los enlaces N-H relacionado con el primer sobretono.

4.2.2 Diferenciación del espectro promedio de los diferentes genotipos. En la Figura 5 se pueden observar los espectros promedios de cada una de las razas. En la región del infrarrojo cercano (NIR), es posible apreciar que el promedio del grupo de muestras correspondientes a la raza Corriedale (CO, en color verde) se encuentra por encima de la curva de absorción promedio de la raza MPM (en color rojo), pero siguiendo ambos genotipos la misma tendencia en los picos y hombros de absorción. Mientras que en la región visible no se observa la tendencia de presentarse una curva promedio por sobre alguno de los genotipos y el distanciamiento entre las curvas Corriedale y MPM, es menor que en la región NIR.

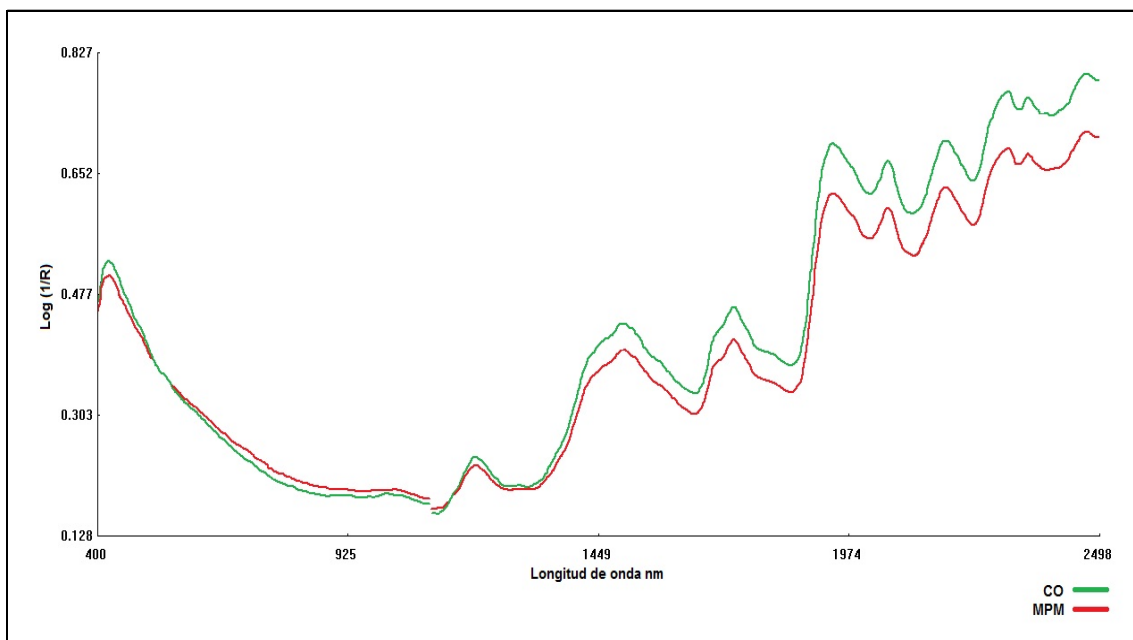


FIGURA 5 Espectros promedio para genotipo Corriedale y MPM.

4.2.3 Diferenciación de los genotipos por componentes principales (PCA). En la Figura 6 se presenta un gráfico de las variables que explican el espectro. El análisis por componentes principales se realizó utilizando el espectro crudo de las muestras, es decir, sin realizar ningún tratamiento matemático a estos. Se separan las muestras a partir de los dos primeros componentes principales, en el cual la primera variable explica el 68,3% y la segunda 95,4% (en forma acumulativa); a diferencia del estudio realizado por COZZOLINO *et al* (2005), donde los primeros cuatro componentes representaron más del 90% de la variación de los espectros. Tienen en común ambos trabajos que es posible distinguir los tipos de muestras de lana según los componentes principales (PCA), para este trabajo se diferenciaron los dos genotipos utilizados, en tanto que en el trabajo de Cozzolino se diferencia entre muestras de lana limpia y sucia.

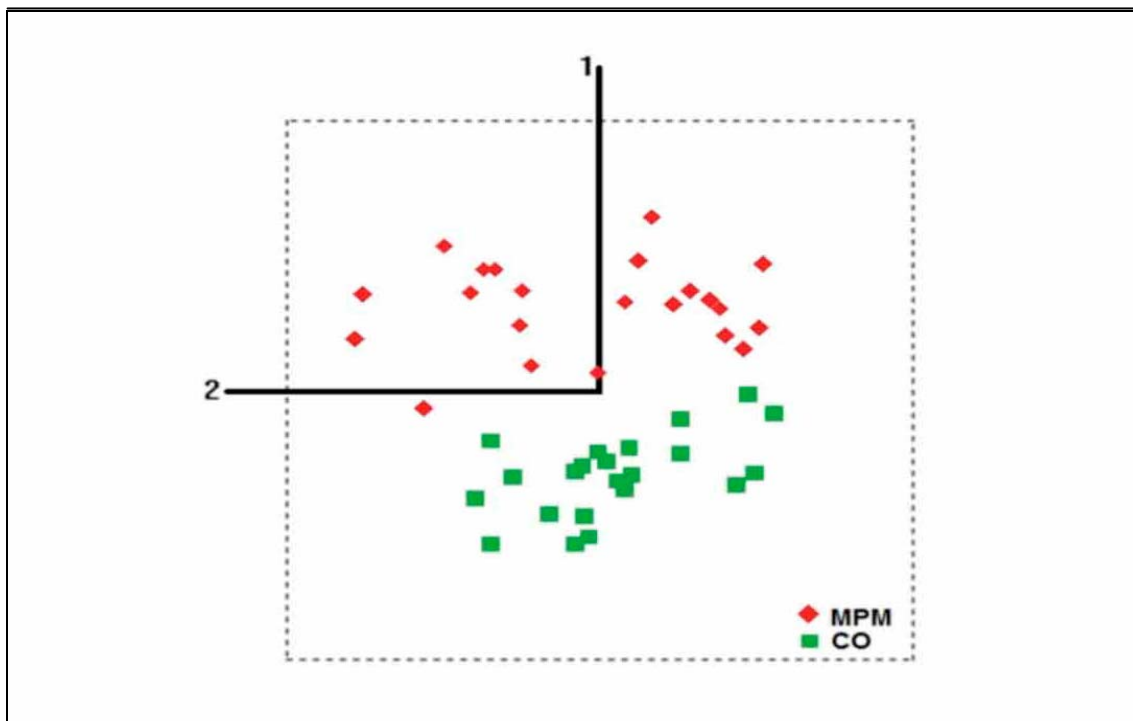


FIGURA 6 Gráfico del Análisis por Componentes Principales

Es posible observar una separación de los espectros de las muestras (representadas por cuadrados y rombos) de los dos genotipos a través de sus espectros: el eje 1 es el que marca mayor diferencia y separa en el segmento superior a las muestras correspondientes a lana MPM y en el segmento inferior a lana Corriedale (CO). Con excepción de la muestra 115 MPM, que se ubicó en la parte inferior junto con las demás lanas CO, pero muy cerca del eje.

4.3 Ecuaciones de calibración para los diferentes parámetros de calidad

Se desarrollaron ecuaciones de calibración para las diferentes variables de calidad de lana, en las que se relacionaron los datos espectrales con los de referencia utilizando el método de los cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS) aplicando distintos tratamientos matemáticos. Se realizó un pase de eliminación de *outliers* (muestras aberrantes) para deshacerse de aquellas muestras que no se ajustan a la calibración. El set de muestras de calibración fue dividido en 5 grupos, para realizar con estos la validación cruzada.

Se realizaron 27 combinaciones diferentes, cada una de las cuales corresponde a un tratamiento matemático, y cada uno de éstos se realizó dos veces, con y sin corrección de dispersión de luz (*SNV & Detrend*). Por lo tanto, se obtuvo un total de 54 calibraciones para cada variable.

La elección de ecuaciones fue basada en el coeficiente de determinación (1-VR), error estándar de validación cruzada (SECV) y la relación DS/SECV.

A continuación se presentan los tres mejores resultados de los tratamientos de calibración para cada una de las variables y la relación entre los valores de referencia y los valores predichos por NIRS.

4.3.1 Diámetro medio de la fibra (DMF) determinado en NZWTA (*New Zeland Wool Testing Authority*). En el Cuadro 4 se presentan los tres mejores tratamientos, del total de ecuaciones de calibración (ANEXO 1). El índice de (DS/SECV) obtuvo valores superiores a 2,6 y coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR), fue superior a 86%.

CUADRO 4 Mejores ecuaciones para diámetro medio de la fibra con referencia *New Zeland Wool Testing Authority*

CDL	TM	N°	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	2-4-8-1	43	0,873	2,039	26,047	5,466	2,681	1,693	0,904
SNV&D	2-4-8-1	42	0,861	2,081	26,033	5,418	2,604	1,192	0,952
NONE	2-8-4-1	43	0,869	2,066	26,047	5,466	2,646	1,714	0,902

CDL: Corrección de dispersión de luz

TM: Tratamiento matemático

1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada

SECV: Error estándar de validación cruzada

R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras

DS: Desviación estándar

SEC: Error estándar de calibración

N: Número de muestras

Para las ecuaciones de calibración del DMF usando valores de referencia obtenidos en Nueva Zelandia (ANEXO 1), el mejor tratamiento matemático es 2-4-8-1 sin corrección de de dispersión de luz (NONE). Se obtiene coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR) de 87,3% y el índice DS/SECV tiene un valor de 2,681, lo que no es suficiente para ser considerada como una ecuación confiable (igual o superior a 3).

En la Figura 7 se puede observar la siguiente distribución de los datos: en el eje x se encuentran los valores de referencia, mientras que en el eje y se ubican los valores predichos por NIRS para el diámetro medio de la fibra. Se aprecia una distribución marcada en dos grupos (uno con 22 y otro con 21 puntos, debido a que se elimino un outlier), lo que hace referencia a los dos genotipos de las muestras.

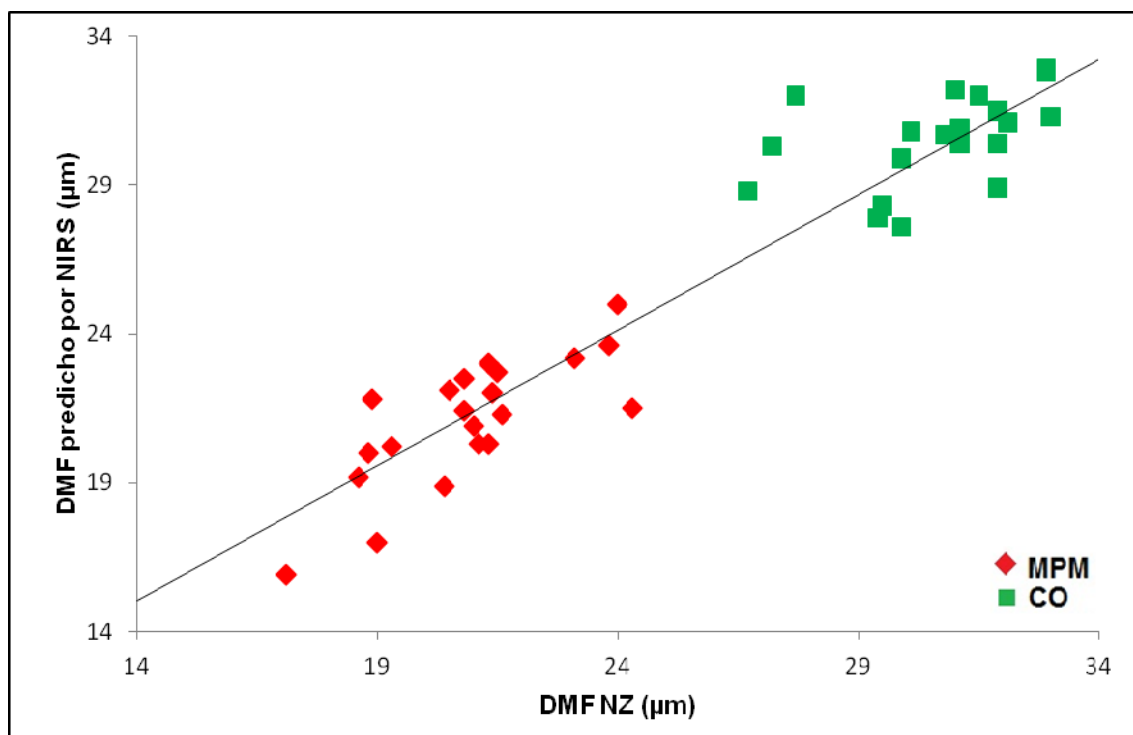


FIGURA 7 Relación entre diámetro medio de la fibra determinado en *New Zealand Wool Testing Authority* y valores predichos por NIRS.

4.3.2 Diámetro Medio de la Fibra (DMF) determinado por el Consorcio Ovino. En el Cuadro 5 se presentan los tres mejores tratamientos, del total de ecuaciones de calibración (ANEXO 2). A diferencia del DMF determinado por la NZWTA, aquí encontramos un índice DS/SECV superior a tres: según lo señalado por MURRAY (1988), esto se considera como una ecuación confiable.

CUADRO 5 Mejores ecuaciones para diámetro medio de la fibra con referencia al Consorcio Ovino.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	1-4-12-1	42	0,91	1,525	24,986	4,925	3,230	1,307	0,93
NONE	1-8-8-1	42	0,91	1,529	24,986	4,925	3,221	1,309	0,929
NONE	1-12-4-1	42	0,91	1,525	24,986	4,925	3,230	1,307	0,93

CDL: Corrección de dispersión de luz

TM: Tratamiento matemático

1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada

SECV: Error estándar de validación cruzada

R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras

DS: Desviación estándar

SEC: Error estándar de calibración

N: Número de muestras

Es posible observar que para el parámetro de DMF utilizando como datos de referencia los resultados del Consorcio Ovino, se obtienen los mejores resultados en cuanto a todos los otros parámetros evaluados. Las tres ecuaciones obtuvieron mejores resultados sin tratamiento de corrección de dispersión de luz (SNV&D). Pero la ecuación seleccionada es 1-4-12-1. Se obtiene coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR) de 91% y el índice DS/SECV tiene un valor de 3,23, es decir, corresponde a una ecuación confiable. Para este parámetro dos de los mejores tratamientos de calibración obtuvieron los mismos resultados, corresponde a la ecuación antes mencionada y la correspondiente a los valores: 1-12-4-1.

En el trabajo realizado por COZZOLINO *et al* (2005), se usaron muestras de lana limpia y sucia, para estas últimas el DMF se adjudicó los siguientes los resultados: coeficiente de determinación de calibración (R²) de 42% y el índice DS/SECV tiene un valor de 0,6. Si bien en ambos trabajos se usó el mismo equipo monocromador (NIRSystem 6500) y muestras de lana sucia, por motivos que se desconocen, los resultados del presente estudio fueron superiores.

En la Figura 8 se ve la distribución de los datos para el DMF, en el eje x los valores de referencia (Consorcio Ovino) mientras que en el eje y los valores predichos por NIRS para el diámetro medio de la fibra. Al igual que para el DMF con datos de referencia de Nueva Zelanda, se aprecia una distribución marcada en dos grupos (22 muestras MPM y 20 Corriedale).

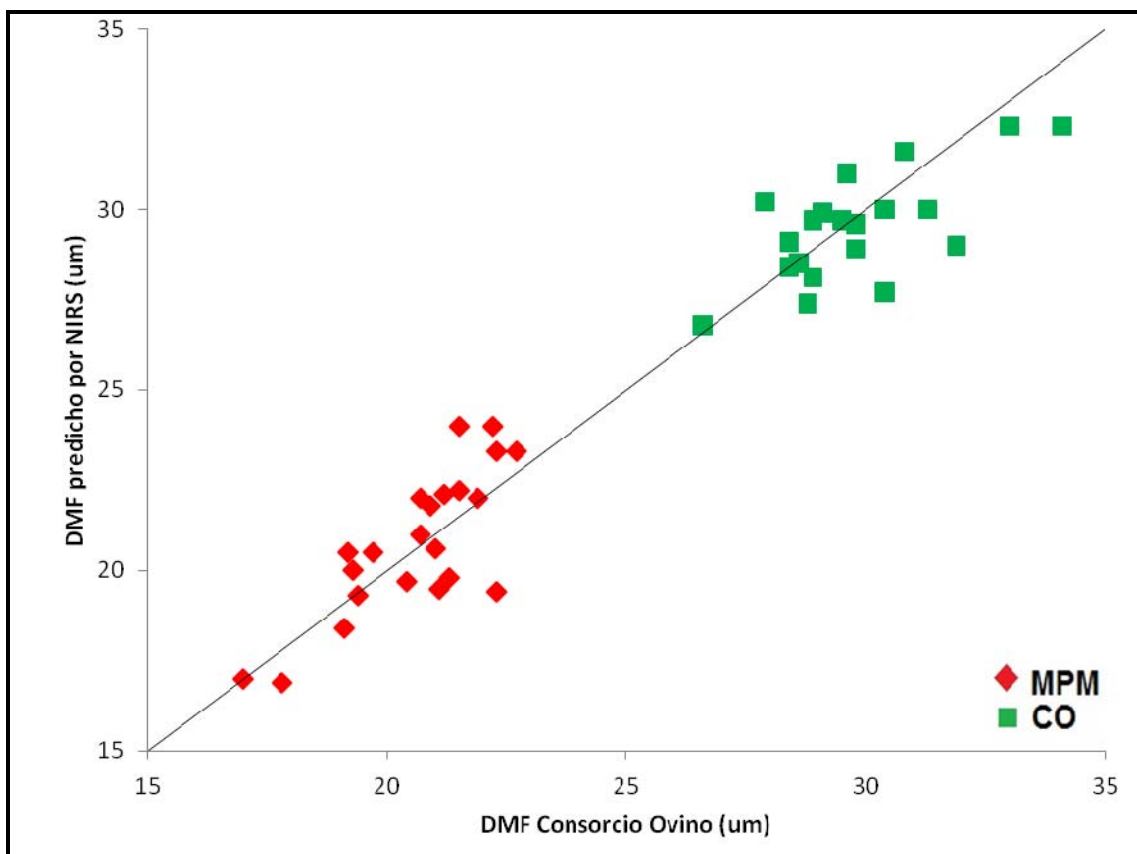


FIGURA 8 Relación entre DMF determinado por Consorcio Ovino y valores predichos por NIRS.

4.3.3 Rendimiento al lavado. En el Cuadro 6 se presentan las tres mejores ecuaciones de calibración para este parámetro de calidad de lana (ANEXO 3). Al observar el índice de (DS/SECV) y coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR), es posible observar que los resultados no son tan favorables como para el DMF.

CUADRO 6 Mejores ecuaciones para Rendimiento al lavado.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	2-4-4-1	42	0,781	1,794	81,6	3,834	2,137	1,642	0,817
SNV&D	2-4-4-1	44	0,845	1,817	81,052	4,607	2,535	1,588	0,881
SNV&D	2-4-8-1	44	0,843	1,829	81,052	4,607	2,519	1,602	0,879

CDL: Corrección de dispersión de luz
 TM: Tratamiento matemático
 1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada
 SECV: Error estándar de validación cruzada
 R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras
 DS: Desviación estándar
 SEC: Error estándar de calibración
 N: Número de muestras

La ecuación de calibración con mejores resultados es 2-4-4-1 utilizando tratamiento de corrección de dispersión de luz (SNV&D). Con esta ecuación se obtiene un índice (DS/SECV) equivalente a 2,535 y un coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR) de 78,1%.

En la Figura 9 se puede observar la distribución de los datos para el Rendimiento al lavado: en el eje x los valores de referencia del laboratorio NZWTA, y por su parte en el eje y los valores predichos por NIRS. La mayoría de las muestras se encuentran ubicadas en un el rango de 74-89% de rendimiento al lavado, con excepción de dos muestras. Aquí no se observa una distribución diferenciada por genotipo, ya que este parámetro responde principalmente a la condición de campo y de manejo de los animales.

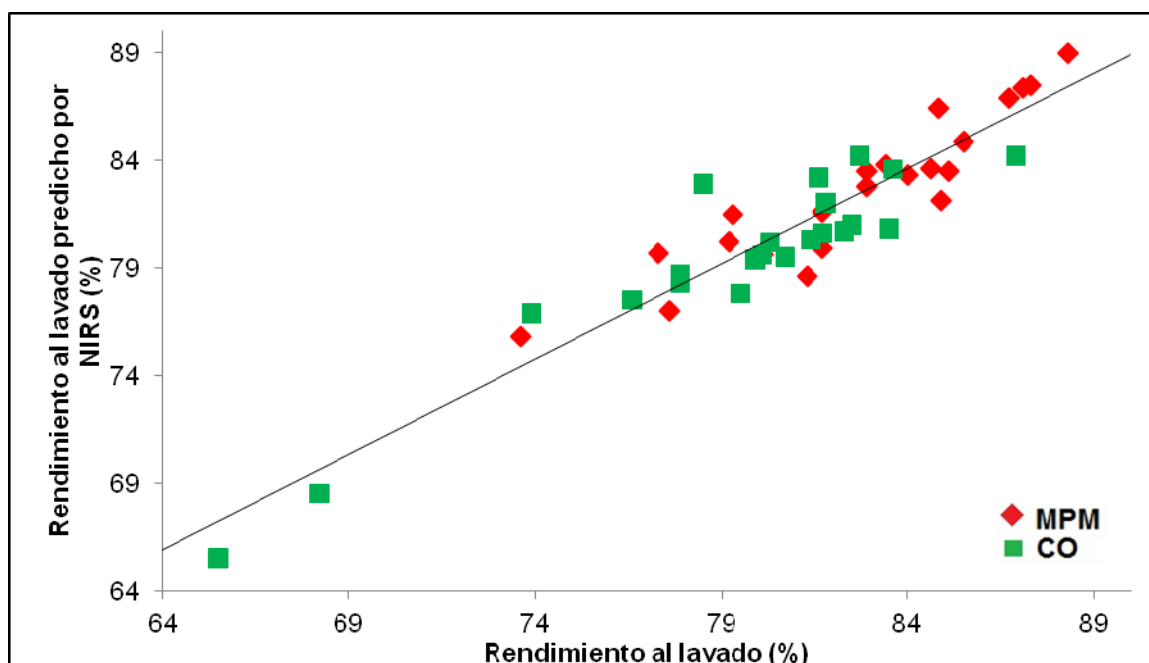


FIGURA 9 Relación entre Rendimiento al lavado de referencia y valores predichos por NIRS.

4.3.4 Factor de confort. En el Cuadro 7 se presentan las tres mejores ecuaciones de calibración del total de tratamientos (ANEXO 4). Para el factor de confort, de acuerdo a los datos de referencia la NZWTA, este parámetro corresponde al porcentaje de fibras mayores a 30 micras ($\% > 30 \mu\text{m}$), estos valores fueron transformados al equivalente de factor de confort descrito en la revisión bibliográfica de este trabajo, es decir, porcentaje de fibras menores a 30 micras ($\% < 30 \mu\text{m}$). Los resultados fueron mejores que para el rendimiento al lavado. Obteniendo valores para el índice (DS/SECV) superiores a 2,47 y el coeficiente de determinación de calibración (R^2) obtuvo valores mayores a 88,6%.

CUADRO 7 Mejores ecuaciones de calibración para el factor de confort.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	2-4-8-1	43	0,853	10,846	70,842	26,875	2,477	9,092	0,886
NONE	2-12-4-1	43	0,854	10,807	70,842	26,875	2,486	8,617	0,897
NONE	2-12-12-1	43	0,855	11,762	70,842	26,875	2,497	8,586	0,898

CDL: Corrección de dispersión de luz
 TM: Tratamiento matemático
 1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada
 SECV: Error estándar de validación cruzada
 R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras
 DS: Desviación estándar
 SEC: Error estándar de calibración
 N: Número de muestras

La mejor ecuación de calibración corresponde a 2-12-12-1 sin utilizar tratamiento de corrección de dispersión de luz (SNV&D). Con esta ecuación se obtiene un índice (DS/SECV) equivalente a 2,497 y un coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR) de 89,8%. El índice (DS/SECV) resultó muy cercano a un índice de 2,5, el cual ha sido considerado como una ecuación posible de usar en la selección de animales.

En la Figura 10 se puede observar la distribución de los datos para el factor de confort: en el eje x los valores de referencia (NZWTA) mientras que en el eje y los valores predichos por NIRS. A diferencia de los otros parámetros de calidad, para este caso en el gráfico se observan muestras con valores superiores al 100% en la predicción de NIRS, las que corresponden a dos muestras de lana MPM ambas con valores de referencia superior al 98% de FC. Es posible observar una distribución segregada por genotipo, siendo más concentradas las muestras de lana MPM.

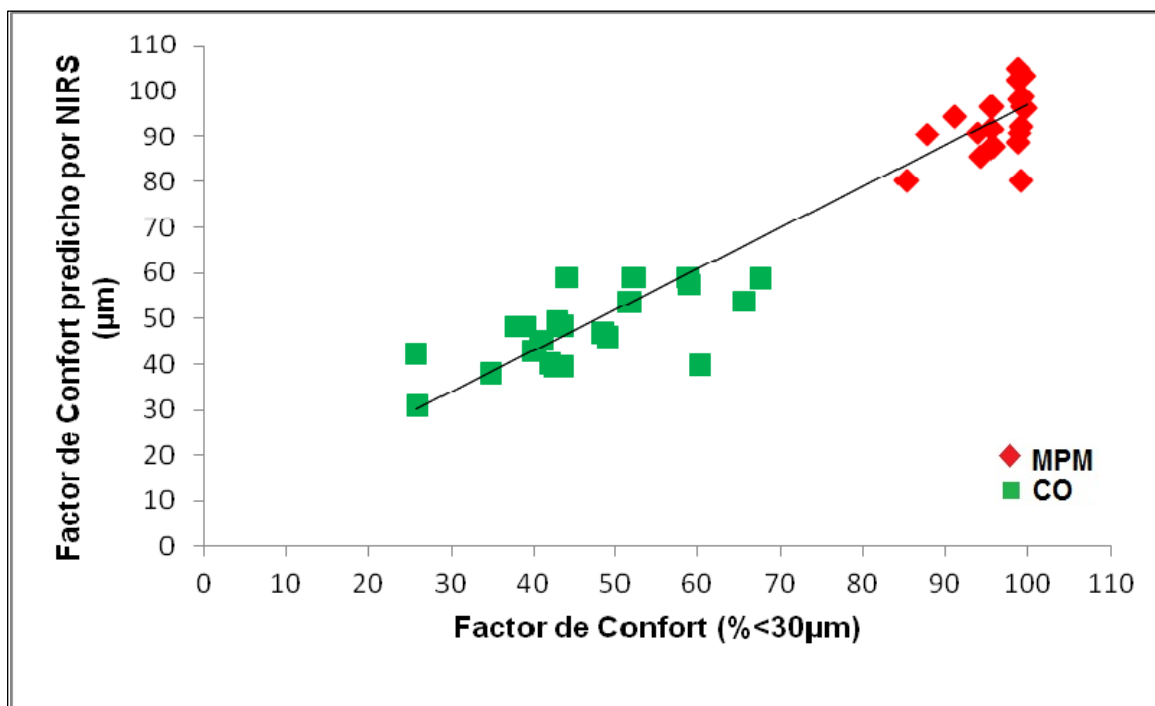


FIGURA 10 Relación entre valores de referencia del factor de confort y valores predichos por NIRS.

4.3.5 Largo de mecha y resistencia a la tracción. Para efectos de este estudio no se encontraron ecuaciones de calibración adecuadas (ANEXOS 5 y 6) para estos dos parámetros de calidad de lana; por lo que se presume que NIRS no tiene capacidad para predecirlos.

En los Cuadros 8 y 9 se presentan las tres mejores ecuaciones de calibración para largo de mecha y resistencia a la tracción respectivamente. Para ambos parámetros los resultados no fueron favorables, obteniendo valores muy bajos para el índice (DS/SECV) y el coeficiente de determinación de validación cruzada (1-VR).

CUADRO 8 Mejores ecuaciones de calibración para el largo de mecha.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	0-4-4-1	43	-0,246	14,098	99,395	12,504	0,887	12,578	-0,012
NONE	0-4-8-1	43	-0,246	14,096	99,395	12,504	0,887	12,578	-0,012
NONE	0-4-12-1	43	-0,245	14,093	99,395	12,504	0,887	12,578	-0,012

CDL: Corrección de dispersión de luz
 TM: Tratamiento matemático
 1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada
 SECV: Error estándar de validación cruzada
 R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras
 DS: Desviación estándar
 SEC: Error estándar de calibración
 N: Número de muestras

CUADRO 9 Mejores ecuaciones de calibración para resistencia a la tracción.

CDL	TM	N	1-VR	SECV	PROM	DS	(DS/SECV)	SEC	R ²
NONE	2-4-4-1	43	0,134	10,332	40,884	11,016	1,066	10,006	0,175
NONE	2-4-8-1	43	0,13	10,353	40,884	11,016	1,064	10,047	0,168
NONE	2-8-4-1	43	0,129	10,363	40,884	11,016	1,063	10,069	0,165

CDL: Corrección de dispersión de luz
 TM: Tratamiento matemático
 1-VR: Coef. De determinación de validación cruzada
 SECV: Error estándar de validación cruzada
 R²: Coef de determinación de calibración

PROM: Promedio de las muestras
 DS: Desviación estándar
 SEC: Error estándar de calibración
 N: Número de muestras

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones experimentales para este estudio, se puede concluir lo siguiente:

Al evaluar el uso de la técnica NIRS en su capacidad de predecir variables económicamente interesantes de la lana, utilizando muestras de lana Merino Multipropósito y Corriedale, resultó ser posible predecir tres de los cinco parámetros lanimétricos analizados, los que corresponden: diámetro medio de la fibra, rendimiento al lavado, factor de confort.

Para el diámetro medio de la fibra con referencia el Consorcio Ovino, se obtuvieron los mejores resultados entre las variables lanimétricas evaluadas; obteniendo el índice (DS/SECV) un valor de 3,23, es decir, corresponde a una ecuación confiable.

Para el diámetro medio de la fibra con referencia NZWTA y rendimiento al lavado, se obtiene un índice (DS/SECV) con un valor sobre 2,5. Si bien esto no las convierte en ecuaciones confiables, es posible utilizar la técnica NIRS para clasificar grupos de animales.

Para las variables lanimétricas largo de mecha (mm) y resistencia a la tracción (Newton/kilotex) no fue posible realizar una predicción. No se encontró ninguna ecuación de calibración adecuada.

En cuanto a la diferenciación de los dos genotipos Corriedale y MPM, se mostró una diferenciación en la ubicación de los espectros. En la región NIR los espectros de las muestras Corriedale se mostraron por sobre los espectros de las muestras MPM, pero siguiendo ambos genotipos la misma tendencia de absorción, coincidiendo en los picos y hombros de absorción. Al ejecutar el análisis por componentes principales, también fue posible distinguir ambos genotipos, ya que la distribución de las muestras se dio de tal manera que las muestras MPM se ubicaron en el segmento superior (con excepción de una) y las muestras de lana Corriedale se presentaron en el segmento inferior, del primer componente principal. Por lo tanto NIRS se mostró como una herramienta con capacidad de diferenciar entre lana MPM y Corriedale, ya sea por la distribución de los espectros o por el análisis de componentes principales.

Para las ecuaciones de calibración del diámetro medio de la fibra y factor de confort, también es posible identificar la segregación de los dos genotipos. Esto no ocurre con el rendimiento al lavado, ya que este parámetro no hace referencia al genotipo, sino más bien a la condición de campo y manejo de los animales.

En cuanto a los tratamientos matemáticos escogidos como los mejores, coinciden en que todas utilizaron un grado de diferenciación (primera o segunda derivada), siendo la segunda derivada el tratamiento más usado.

Con respecto al tratamiento de corrección de dispersión de luz (CDL), fue utilizado solo en uno de los tratamientos seleccionados como la mejor ecuación.

Los resultados obtenidos soportan la hipótesis, ya que la técnica NIRS fue capaz de predecir tres de los cinco parámetros de calidad de lana ovina evaluados y por otra parte fue una herramienta competente en la diferenciación de los dos genotipos usados en este estudio.

6 BIBLIOGRAFIA

- ALOMAR, D. y FUCHSLOCHER, R. 1998. Fundamentos de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes. *Agro Sur* 26(1):88-104 pp.
- ASOCIACION ARGENTINA CRIADORES DE CORRIEDALE. 2007. Raza Corriedale. Sitio Argentino de Producción Animal. <<http://www.produccion-animal.com.ar>> (2 Junio 2011).
- BEYER, E. 1997. Dinámica de la degradación ruminal de la materia seca de ensilajes y su predicción por espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano NIRS. Tesis Lic. Agronomía. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 125 p.
- BORRELLI, P., FENTON, R., ROCHA, H., STURZENBAUM, P. y BOGGIO, F. 2009. Análisis de la cadena de valor de lanas en la República Argentina y el rol de Ovis XXI. *Ovis XXI*. Julio de 2009.
- BUXADE, C. 1996. Zootecnia. Bases de Producción Animal. Tomo VIII Producción Ovina. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 150-156 pp.
- CANAZA, A. 2009. Evaluación cualitativa y cuantitativa de la fibra de alpaca mediante Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). Tesis Magister en Cs. Producción Animal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias.
- CELERINO, L. 2008. Aplicación de la espectroscopia de reflectancia infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de suelos. *Ciencia...Ahora*. <<http://www.ciencia-ahora.cl/Revista21/12EspectroscopiaReflectancia.pdf>> (1 Junio 2011).
- CONSORCIO OVINO, 2010. Indicadores ovinos N°6, Exportaciones Ovinas 2010. <<http://www.consorcioovino.cl/consorcio2/index.php/blogovino/descargas?func=fileinfo&id=55>> (9 Junio 2011).

- COZZOLINO, D. 2002. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia* (Uruguay). 6(2): 25-32.
- COZZOLINO, D; MONTOSI, F; SAN JULIAN , R. 2005. The use of visible (VIS) and near infrared (NIR) reflectance spectroscopy to predict fibre diameter in both clean and greasy wool samples. *Animal Science* (Escocia) 80: 333-337 pp.
- ELVIRA, M. 2005. Características de lana Merino e importancia en el procesamiento industrial. *Asociación Argentina de criadores de Merino* (Argentina) Boletín Año XIII N° 49. 231-238 pp.
- FREY, A. 2007. Calidad de lanas en la Argentina. Facultad de Agronomía UBA. <http://alepo.agro.uba.ar/catedras/ovinos/calidad_lanas_argentina.pdf> (9 Junio 2011).
- FUNDACIÓN CHILE. (2002). Tópicos de Producción Ovina en el secano central. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura. <<http://es.scribd.com/doc/87856454/CorderoSecanoCentral>> (15 jun. 2012).
- HELMAN, M. 1952. Ovinotecnia. Primer volumen: Exterior y Razas. Buenos Aires, Argentina. El Ateneo. 110-113 pp.
- INFRASOFT INTERNATIONAL. 1992. NIRS 3.0: Routine Operation, Calibration and Network System Management Software for Near Infrared Instruments. ISI. Estados Unidos, Silver Spring. 328 p.
- INTERNATIONAL WOOL TEXTILE ORGANISATION (IWTO). 2012. Wool Roadmap. <http://www.iwto.org/uploaded/projects/roadmap/iwto_rm_spanish.pdf> (15 jun. 2012).
- KUSANOVIC, A. 2012. Comparación de parámetros productivos entre genotipos ovinos Merino Multipropósito (MPM) y Corriedale. Tesis Magister en Cs. Producción Animal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Pag
- LATORRACA, A. 2005. Esquila desmaneada secuencial. Memorias del VII curso de Actualización en Producción Ovina, EEA Bariloche, INTA. 133-144 pp.

- MILLER, C. 2001. Chemical principles of near infrared technology. In: Nearinfrared technology in the agricultural and food industries. Editado por Phil Williams y Karl Norris. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota. USA. Pp: 19-37.
- MILLER, J.N; MILLER, J.C. 2002. Estadística y Quimiometría para Química Analítica. Traducido por Carlos Maté. 4ta edición. Madrid, España. Pearson. 221-225 pp.
- MORCILLO, J. 1974. Espectroscopia Infrarroja. Washington, Estados Unidos. Secretaria General de la Organización de Estados Americanos. 74 pp.
- MURRAY, I. 1988. Aspects of the interpretation of near infrared spectra. Food Science and Technology Today. 2 (2): 135–140 pp.
- NIRSOLUCIONES. 2009. <http://www.nirsoluciones.com/nirs_aplicaciones.html>. (9 Junio de 2011).
- NODO TECNOLOGICO PECUARIO, CODESSER MAGALLANES. 2009. Boletín N° 6. < <http://www.nodopecuario.cl/html/images/stories/boletin%206a.pdf>> (19 jun. 2012).
- RODRÍGUEZ, R. 2007. Principales características que afectan el valor textil de la lana. Producción Ovina, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (Argentina). 8 pp.
- SACCHERO, D. (2005). Utilización de medidas objetivas para determinar calidad en lanas. Sitio Argentino de Producción Animal. <http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/ganaderia/ovinos/04=Documentaci%C3%B3n%20Tecnica/01Lanas/_archivos/000000_Utilizacion%20de%20medidas%20objetivas%20para%20determinar%20calidad%20de%20lana.pdf> (8 Junio 2011).
- VÁSQUEZ, D; ABADÍA, B; ARREAZA, L. 2004. Aplicación de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. Corpoica (Colombia) 5 (1): 49–55 pp.
- VÁSQUEZ, D; MAYORGA, O. 2005. Uso de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la cuantificación rápida y precisa de triptófano en maíces colombianos. Corpoica (Colombia) 6 (1): 48–51 pp.

WELLS, G. 2006. Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) en el análisis cuantitativo y cualitativo de carne de cordero. Tesis Magister en Cs. Producción Animal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 106 pp.

ANEXOS

ANEXO 1 Ecuaciones de calibración para la predicción del diámetro medio de la fibra (DMF) con referencia NZWTA

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	2,214	0,846	2,622	0,779
0-4-8-1	2,215	0,846	2,629	0,778
0-4-12-1	2,215	0,846	2,646	0,775
0-8-4-1	2,214	0,846	2,622	0,779
0-8-8-1	2,215	0,846	2,629	0,778
0-8-12-1	2,215	0,846	2,646	0,775
0-12-4-1	2,214	0,846	2,622	0,779
0-12-8-1	2,215	0,846	2,629	0,778
0-12-12-1	2,215	0,846	2,646	0,775
1-4-4-1	2,260	0,840	2,289	0,832
1-4-8-1	2,283	0,836	2,284	0,833
1-4-12-1	2,310	0,832	2,335	0,823
1-8-4-1	2,283	0,836	2,284	0,833
1-8-8-1	2,3	0,834	2,289	0,832
1-8-12-1	2,319	0,831	2,332	0,823
1-12-4-1	2,310	0,832	2,335	0,823
1-12-8-1	2,319	0,831	2,332	0,823
1-12-12-1	2,328	0,830	2,323	0,825
2-4-4-1	2,165	0,853	2,144	0,852
2-4-8-1	2,039	0,873	2,081	0,861
2-4-12-1	2,086	0,867	2,167	0,849
2-8-4-1	2,066	0,869	2,111	0,857
2-8-8-1	2,101	0,865	2,471	0,810
2-8-12-1	2,129	0,861	2,490	0,807
2-12-4-1	2,139	0,860	2,504	0,805
2-12-8-1	1,997	0,868	2,494	0,807
2-12-12-1	2,310	0,832	2,470	0,811

ANEXO 2 Ecuaciones de calibración para la predicción del diámetro medio de la fibra (DMF) con referencia del Consorcio Ovino.

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	1,650	0,900	1,716	0,884
0-4-8-1	1,651	0,900	1,727	0,882
0-4-12-1	1,652	0,900	1,748	0,879
0-8-4-1	1,650	0,900	1,716	0,884
0-8-8-1	1,651	0,900	1,727	0,882
0-8-12-1	1,652	0,900	1,748	0,879
0-12-4-1	1,650	0,900	1,716	0,884
0-12-8-1	1,651	0,900	1,727	0,882
0-12-12-1	1,652	0,900	1,748	0,879
1-4-4-1	1,684	0,896	1,779	0,884
1-4-8-1	1,686	0,896	1,742	0,889
1-4-12-1	1,525	0,910	1,769	0,885
1-8-4-1	1,686	0,896	1,742	0,889
1-8-8-1	1,529	0,910	1,752	0,887
1-8-12-1	1,679	0,897	1,771	0,885
1-12-4-1	1,525	0,910	1,769	0,885
1-12-8-1	1,679	0,897	1,771	0,885
1-12-12-1	1,679	0,897	1,782	0,883
2-4-4-1	1,687	0,896	2,313	0,808
2-4-8-1	1,703	0,894	2,214	0,825
2-4-12-1	1,703	0,894	2,142	0,836
2-8-4-1	1,711	0,893	2,135	0,837
2-8-8-1	1,717	0,892	2,144	0,835
2-8-12-1	1,814	0,878	2,127	0,838
2-12-4-1	1,814	0,878	2,132	0,837
2-12-8-1	1,806	0,879	2,115	0,840
2-12-12-1	1,800	0,879	2,089	0,844

ANEXO 3 Ecuaciones de calibración para la predicción del rendimiento al lavado.

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	2,048	0,639	1,892	0,772
0-4-8-1	2,049	0,639	1,889	0,773
0-4-12-1	2,045	0,641	1,884	0,774
0-8-4-1	2,048	0,639	1,892	0,772
0-8-8-1	2,049	0,639	1,889	0,773
0-8-12-1	2,045	0,641	1,884	0,774
0-12-4-1	2,048	0,639	1,892	0,772
0-12-8-1	2,049	0,639	1,889	0,773
0-12-12-1	2,045	0,641	1,884	0,774
1-4-4-1	1,969	0,818	1,838	0,841
1-4-8-1	1,973	0,817	1,838	0,841
1-4-12-1	1,985	0,815	1,836	0,842
1-8-4-1	1,973	0,817	1,838	0,841
1-8-8-1	1,979	0,816	1,836	0,842
1-8-12-1	1,991	0,814	1,831	0,843
1-12-4-1	1,985	0,815	1,836	0,842
1-12-8-1	1,991	0,814	1,831	0,843
1-12-12-1	2,004	0,811	1,821	0,844
2-4-4-1	1,794	0,781	1,817	0,845
2-4-8-1	1,801	0,779	1,829	0,843
2-4-12-1	1,817	0,840	1,841	0,841
2-8-4-1	1,794	0,781	1,838	0,841
2-8-8-1	1,821	0,839	1,843	0,841
2-8-12-1	1,950	0,758	1,843	0,840
2-12-4-1	1,954	0,757	1,847	0,840
2-12-8-1	1,952	0,757	1,843	0,840
2-12-12-1	1,953	0,757	1,843	0,840

ANEXO 4 Ecuaciones de calibración para la predicción del factor de confort.

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	12,686	0,794	14,726	0,723
0-4-8-1	12,624	0,796	14,743	0,722
0-4-12-1	12,704	0,793	14,703	0,723
0-8-4-1	12,686	0,794	14,726	0,723
0-8-8-1	12,624	0,796	14,743	0,722
0-8-12-1	12,704	0,793	14,703	0,723
0-12-4-1	12,686	0,794	14,726	0,723
0-12-8-1	12,624	0,796	14,743	0,722
0-12-12-1	12,704	0,793	14,703	0,723
1-4-4-1	11,547	0,833	12,811	0,790
1-4-8-1	11,632	0,8530	12,763	0,792
1-4-12-1	11,762	0,827	12,883	0,788
1-8-4-1	11,632	0,830	12,763	0,792
1-8-8-1	11,711	0,828	12,832	0,789
1-8-12-1	11,764	0,827	13,070	0,781
1-12-4-1	11,762	0,827	12,883	0,788
1-12-8-1	11,764	0,827	13,070	0,781
1-12-12-1	11,824	0,825	13,582	0,764
2-4-4-1	10,893	0,851	14,707	0,718
2-4-8-1	10,846	0,853	12,775	0,791
2-4-12-1	10,954	0,850	12,710	0,793
2-8-4-1	10,900	0,851	14,303	0,733
2-8-8-1	11,025	0,848	14,046	0,742
2-8-12-1	10,972	0,849	13,313	0,769
2-12-4-1	10,978	0,849	13,156	0,774
2-12-8-1	10,807	0,854	12,723	0,789
2-12-12-1	10,762	0,855	12,809	0,809

ANEXO 5 Ecuaciones de calibración para la predicción del largo de mecha.

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	14,098	0,246-	14,899	0,359 -
0-4-8-1	14,096	0,246-	14,903	0,360-
0-4-12-1	14,093	0,245-	15,915	0,323-
0-8-4-1	14,098	0,246-	14,899	0,359-
0-8-8-1	14,096	0,246-	14,903	0,360-
0-8-12-1	14,093	0,245-	15,915	0,323-
0-12-4-1	14,098	0,246-	14,899	0,359-
0-12-8-1	14,096	0,246-	14,903	0,360-
0-12-12-1	14,093	0,245-	15,915	0,323-
1-4-4-1	14,555	0,328-	16,539	0,431-
1-4-8-1	14,525	0,323-	16,912	0,497-
1-4-12-1	14,490	0,316-	16,871	0,489-
1-8-4-1	14,525	0,323-	16,912	0,497-
1-8-8-1	14,500	0,318-	16,890	0,493-
1-8-12-1	14,470	0,313-	15,796	0,303-
1-12-4-1	14,490	0,316-	16,871	0,489-
1-12-8-1	14,470	0,313-	15,795	0,303-
1-12-12-1	14,446	0,308-	15,904	0,321-
2-4-4-1	14,795	0,373-	14,921	0,191-
2-4-8-1	14,678	0,351-	14,848	0,180-
2-4-12-1	14,390	0,271-	14,789	0,170-
2-8-4-1	14,369	0,267-	14,715	0,159-
2-8-8-1	14,348	0,264-	14,699	0,156
2-8-12-1	14,344	0,263-	14,862	0,182-
2-12-4-1	14,344	0,263-	14,928	0,192-
2-12-8-1	14,563	0,302-	14,928	0,192-
2-12-12-1	14,543	0,298-	15,012	0,206-

ANEXO 6 Ecuaciones de calibración para la predicción de la resistencia a la tracción.

Tratamiento matemático	None		SNV and Detrend	
	SECV	1-VR	SECV	1-VR
0-4-4-1	10,576	0,093	10,469	0,111
0-4-8-1	10,578	0,092	10,470	0,111
0-4-12-1	10,580	0,092	10,468	0,111
0-8-4-1	10,576	0,093	10,469	0,111
0-8-8-1	10,578	0,092	10,470	0,111
0-8-12-1	10,580	0,092	10,468	0,111
0-12-4-1	10,576	0,093	10,469	0,111
0-12-8-1	10,578	0,092	10,470	0,111
0-12-12-1	10,580	0,092	10,468	0,111
1-4-4-1	10,542	0,098	10,477	0,109
1-4-8-1	10,544	0,098	10,489	0,107
1-4-12-1	10,544	0,098	10,511	0,104
1-8-4-1	10,544	0,098	10,498	0,107
1-8-8-1	10,545	0,098	10,501	0,105
1-8-12-1	10,543	0,098	10,517	0,103
1-12-4-1	10,544	0,098	10,511	0,104
1-12-8-1	10,543	0,098	10,517	0,103
1-12-12-1	10,541	0,099	10,527	0,101
2-4-4-1	10,332	0,134	10,332	0,134
2-4-8-1	10,353	0,130	10,380	0,126
2-4-12-1	10,364	0,129	10,406	0,122
2-8-4-1	10,363	0,129	10,383	0,125
2-8-8-1	10,370	0,128	10,391	0,124
2-8-12-1	10,375	0,127	10,417	0,120
2-12-4-1	10,373	0,127	10,425	0,118
2-12-8-1	10,374	0,127	10,428	0,118
2-12-12-1	10,371	0,127	10,436	0,116