



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**COLOR DE LA LANA LIMPIA: IMPORTANCIA EN EL PROCESO
DE TINCIÓN, FACTORES CLIMÁTICOS QUE LO AFECTAN Y
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN OVINOS DE
LA RAZA CORRIEDALE**

Dra. Karina Neimaur Fernández

TESIS DE DOCTORADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**URUGUAY
2021**



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**COLOR DE LA LANA LIMPIA: IMPORTANCIA EN EL PROCESO
DE TINCIÓN, FACTORES CLIMÁTICOS QUE LO AFECTAN Y
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN OVINOS DE
LA RAZA CORRIEDALE**

Karina Neimaur Fernández

Dr. Roberto Kremer

Director de Tesis

Ing. Agr. Jorge Urioste

Dra. Inés Sienna

Co-directores

2021

**INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE
DEFENSA DE TESIS**

**Silvia LLambí; DMTV, MSc, PhD
Facultad de Veterinaria
Universidad de la República - Uruguay**

**Eduardo N. Frank; DMV, PhD
Universidad Católica de Córdoba
Universidad Nacional de La Rioja
Argentina**

**Gabriel Ciappesoni; Ing.Agr., MSc, PhD
Instituto Nacional Investigación Agropecuaria
Uruguay**

2021



ACTA DE TESIS DE DOCTORADO

ORIENTACIÓN: PRODUCCIÓN ANIMAL

LUGAR Y FECHA DE LA DEFENSA: SALA 07 AULARIO, 15/12/2021

TRIBUNAL: SILVIA LLAMBÍ, EDUARDO FRANK, GABRIEL CIAPPESONI

CI	NOMBRE	CALIFICACIÓN	NOTA
1952655-2	NEIMAUR FERNÁNDEZ, KARINA	Doce	12

TRIBUNAL

Dra. Ph.D. Msc. Silvia Llambi Dellacasa

FIRMA

Ing. Agr. Gabriel Ciappesoni.

Dr. Eduardo Frank

Karina Neimaur, presentó una tesis muy bien redactada, con antecedentes basados en bibliografía actualizada, objetivos muy claros. La misma tiene como objetivo central, estudiar la importancia del color de la lana limpia en la tinción así como estudiar los factores climáticos que afectan la misma, factores de variabilidad genética y relación de asociación con características del vellón. Los resultados obtenidos dieron lugar a tres artículos científicos (dos de ellos ya publicados en revistas arbitradas y el tercer artículo enviado a revista en proceso de arbitraje). Los aportes en la temática han sido originales.

En la defensa oral fue muy clara y respondió con solvencia a las preguntas formuladas por el tribunal.

En resumen se trata de una tesis de alto impacto en la generación de conocimiento sobre la temática del color de la lana, cuya aplicación práctica es altamente deseable en la industria.

A Bian, Pachi y Pablo, los amores de mi vida

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor y jefe durante 25 años, el Dr. Roberto Kremer: por su estímulo para continuar formándome, su guía y enseñanzas durante el proyecto, y por su apoyo constante (aún después de dejar de ser mi jefe).

A mi tutor, el Ing. Agr. Jorge Urioste: por todo lo que me enseñó a lo largo de este camino del doctorado, por hacer que me cuestione, porque cada vez que pensaba que lo que había escrito era satisfactorio, me demostraba que podía seguir subiendo escalones y mejorarlo, por dedicar horas y horas a corregir mi trabajo cientos de veces, por estar siempre!

A mi cotutora, la Dra. Inés Sienna: por iniciarme en este camino de “la lana” que me apasiona, por todo lo aprendido junto ella a lo largo de los años que trabajamos juntas.

A Hugo Naya, a quien conocí en la última parte de este camino: por su generosidad, disposición, por socorrerme junto a Jorge en el procesamiento estadístico de los datos, por aportar sus conocimientos a los artículos publicados.

A Fernando Perdigón, Lucy Sosa y todo el personal del Campo Experimental N° 1 de FVET: sin su apoyo no podía haber sido posible el trabajo de campo de la tesis.

A Adriana Fernández y Víctor Pérez: por abrirme las puertas del Laboratorio de Textiles del LATU, enseñarme sobre “tinción”, y haber hecho posible el primer experimento de esta tesis. Gracias por hacerme sentir durante el año y medio que trabajé en su laboratorio como en mi casa.

Al Sr. Carlos Belloso, director de la compañía INOVUM S.R.L., por el asesoramiento sobre colorantes y sistemas de tinción de lana y por generosamente brindarnos los colorantes para el ensayo.

Al personal de la Estación Experimental Bernardo Rossengurt de FAGRO: por abrirme la puerta de sus instalaciones y recibirme durante los tres años de ensayo.

A Ana Meikle y Paula Pessina: por su inmensa generosidad, por “destrabar mi doctorado” en un momento complicado de mi vida, no saben todo lo que significó para mí su apoyo.

A todos los tesistas y estudiantes de Facultad de Veterinaria y Facultad de Agronomía que a lo largo de todo este camino colaboraron de una u otra forma con mi trabajo.

Al Prof. José Luis Borques de la Universidad Autónoma Estatal de México: por su apoyo en el procesamiento de muestras durante su estancia en Uruguay.

A la CSIC, porque a través de su financiación, posibilitó la realización de este proyecto.

A mis compañeros de Ovinos: los “de siempre”, los “que ya no están”, los “nuevos”, gracias por su apoyo.

A mis padres: por haber apostado siempre a mi educación y alentarme a luchar por lo que quiero, ¡¡los quiero!! Papá te extraño todos los días...

A vos Pablo, mi amor, mi cómplice y apoyo en todos los proyectos (familiares y laborales), por alentarme, ¡¡siempre alentarme!!, por acompañar toda esta “aventura doctoral” a esta altura de la vida. Te amo, vos lo sabés.

A Bianca y Paz: por su paciencia y comprensión ya que este trabajo significó muchas veces resignar tiempo juntas. Por eso, este trabajo se los dedico a ustedes, el motor de

mi vida, como ejemplo de que “se puede” y que no importa “el esperar el mejor momento para emprender”, sino el intentarlo y no rendirse. Las amo por sobre todas las cosas...

INDICE

Resumen	V
Abstract	VI
1. Introducción y Antecedentes	1
1.1. El color de la capa en los ovinos	2
1.2. El color de la lana en vellones blancos- Medición subjetiva y objetiva	3
1.2.1. Medición subjetiva	3
1.2.2. Medición objetiva.....	4
1.3. El color de las lanas uruguayas	4
1.4. Importancia del color en su procesamiento	5
1.5. Factores predisponentes y determinantes del color	7
1.5.1. Factores ambientales	7
1.5.2. Factores genéticos	8
1.5.2.1. Heredabilidad del color de la lana limpia	8
1.5.2.2. Correlaciones genéticas del color de la lana limpia con características de la lana medidas en forma objetiva	8
1.5.2.3. Correlaciones genéticas del color de la lana limpia con características de la lana de evaluación visual.....	9
1.5.3. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia	10
1.5.3.1. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia con características de la lana medidas en forma objetiva	10
1.5.3.2. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia con características de la lana de evaluación visual.	11
2. Planteamiento del problema	13
3. Hipótesis	15
4. Objetivos	16
5.1. Objetivo general	16
5.2. Objetivos particulares	16
5. Estrategia de investigación	17
6. Materiales y métodos	18
6.1. Experimento 1 (Artículo I)	18
6.1.1. Preparación de muestras de lana	18
6.1.2. Tinción de las muestras de lana	19
6.1.3. Medición del color	19

6.1.4. Análisis estadístico	19
6.2. Experimento 2 (Artículos II y III)	20
6.2.1. Lugar del experimento y manejo de los animales	20
6.2.2. Base de datos	20
6.2.3. Muestreo de lana y mediciones	21
6.2.4. Datos climáticos	23
6.2.5. Análisis estadístico	23
6.2.5.1. Factores ambientales y genéticos del color limpio	23
6.2.5.2. Variación genética y asociación con otras características de la lana	24
7. Resultados principales	26
7.1. Presentación de los trabajos y justificación de la unidad temática	26
7.2. Resultados del Experimento 1	26
7.3. Resultados del Experimento 2	28
7.3.1. Factores ambientales	28
7.3.2. Factores genéticos	31
7.3.2.1. Parámetros genéticos del color limpio en los muestreos estacionales de lana	31
7.3.2.2. Heredabilidad de las características de la lana	32
7.3.2.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas de Y-Z e Y con características de producción y calidad de la lana medidas objetivamente	33
7.3.2.4. Correlaciones genéticas y fenotípicas de Y-Z e Y con las características de la lana evaluadas visualmente	34
7.3.2.5. Valores de cría de los padres para Y-Z e Y	34
8. Discusión general.....	36
9. Conclusiones.....	41
10. Referencias	42
11. Anexos.....	50
11.1. Artículo I	50
11.2. Artículo II	57
11.3. Artículo III	64

RESUMEN

Uruguay se caracteriza por producir lanas de diámetros medios y existe la necesidad de mejorar el color de la lana limpia en este rango de finuras. Esta es una característica importante en la calidad de un lote, que indica el potencial de teñido, y se describe mediante dos componentes: el amarillamiento (Y-Z) y el brillo (Y). Con el objetivo de profundizar el estudio de esta característica, se plantearon dos experimentos.

El primer experimento (Artículo I) tuvo como objetivo determinar los efectos del color de la lana limpia sobre el color adquirido luego de la tinción con colorantes de tonos pastel en lanas Corriedale. El color adquirido luego de la tinción, se vio afectado por el Y-Z de la lana, siendo la diferencia total de color (ΔE) determinada tras el teñido mayor a medida que aumentaron los valores de Y-Z de las cintas de carda. La posición del punto de corte en la escala Y-Z a partir del cual el color de una muestra estuvo fuera de la tolerancia especificada con respecto al estándar, o sea que visualmente se podían detectar diferencias en la coloración adquirida luego de la tinción, fue 0,74. A partir de este valor de Y-Z, el teñido estaría afectando al color adquirido luego de la tinción, variando de acuerdo al colorante pastel utilizado.

El segundo experimento propuso el estudio del color de la lana limpia en dos majadas Corriedale experimentales. Se plantearon como objetivos (Artículo II): a) estimar el efecto de las variables climáticas sobre el Y-Z e Y de la lana; b) determinar si el color de la lana expresado en diferentes estaciones era genéticamente la misma característica o se expresaba de forma diferente a lo largo del tiempo. Se demostró el efecto de los factores meteorológicos sobre el color de la lana lavada. La temperatura máxima presentó una asociación significativa y positiva con el Y-Z, mientras que las precipitaciones acumuladas y la humedad relativa mostraron asociaciones positivas con el Y-Z en verano. La estimación de la heredabilidad del Y-Z y el Y, y las asociaciones genéticas entre los muestreos estacionales sugieren que probablemente no sean la misma característica a lo largo del tiempo.

Este experimento también tuvo como objetivo (Artículo III) determinar los parámetros genéticos del color de la lana limpia, haciendo énfasis en sus correlaciones genéticas y fenotípicas con características de medición objetiva y subjetiva del vellón. Se demostró que el Y-Z es heredable (0,22), mientras que el Y presentó una baja heredabilidad (0,10).

La selección indirecta vía color sucio sería un enfoque alternativo a utilizar para mejorar el color de la lana limpia ($r_g=0.70$). El Y-Z se correlacionó en forma desfavorable con los pesos de vellón sucio y limpio (0,43 y 0,56, respectivamente). Por tanto, para evitar el deterioro del Y-Z, sería necesario incluirlo explícitamente en el programa de selección. Además, se encontró una correlación genética no diferente de cero entre el diámetro de fibra promedio e Y-Z. Se sugiere que sería conveniente realizar más investigaciones para aclarar este aspecto dada la importancia de esta característica.

SUMMARY

The production of cross wool characterises Uruguay, and there is a need to improve scoured wool colour in this fineness range. Scoured wool colour is an important characteristic in the quality of a sale lot, as it indicates the dyeing potential, and it is described by two components: yellowness (Y-Z) and brightness (Y). In order to further study this characteristic, two experiments were carried out.

The first experiment (Article I) aimed to determine the effects of scoured wool colour on the colour acquired after dyeing with pastel dyes in Corriedale wool. The colour acquired after dyeing was affected by the wool Y-Z, with the total colour difference (ΔE) determined after dyeing increasing as the Y-Z values of the carding webs increased. The position of the cut-off point on the Y-Z scale at which the colour of a sample was outside the specified tolerance to the standard, i.e. visually detectable differences in the colour acquired after dyeing, was 0.74. From this Y-Z value, dyeing would be affecting the colour acquired, varying according to the pastel dye used.

The second experiment proposed the study of scoured wool colour in two experimental Corriedale flocks. The objectives (Article II) were: a) to estimate the effect of climatic variables on wool Y-Z and Y; b) to know if wool colour expressed in different seasons was genetically the same trait or it was expressed differently along time. The effects of climatic factors on wool scoured colour were demonstrated. Maximum temperature showed a significant and positive association with Y-Z, while cumulative rainfall and relative humidity showed positive associations with Y-Z in summer. The estimated heritability of Y-Z and Y and the genetic associations between seasonal samples suggest that they are probably not the same trait over time.

This experiment also aimed (Article III) to determine the genetic parameters of wool colour, with emphasis on their genetic and phenotypic correlations with objective and subjectively measured fleece traits. As a result, it was shown that Y-Z was heritable (0.22), while Y showed a low heritability (0.10).

Indirect selection via greasy wool colour is an alternative approach to improve scoured wool colour ($r_g=0.70$). However, Y-Z correlated unfavourably with greasy and clean fleece weights (0.43 and 0.56, respectively). Therefore, to avoid deterioration of Y-Z, it would be necessary to include it in the breeding programme explicitly. Furthermore, a genetic correlation not different from zero was found between average fibre diameter and Y-Z. However, given the limited data available, it is suggested that further research would be desirable to clarify this aspect, given the importance of this trait.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La lana ocupa el 4% del mercado mundial de fibras, y sus principales competidores son el algodón y las fibras sintéticas, que ocupan cerca del 21,5 % y 70% del mercado, respectivamente, y cuyo crecimiento ha sido impulsado por la alta demanda en los países en desarrollo. En los últimos años, la lana ha pasado de ser un “commodity” a ser una fibra “de especialidad”, buscando cubrir las exigencias de consumidores de alto poder adquisitivo que valoran la calidad y el origen del producto (Cardellino et al., 2021).

Uruguay posee un stock ovino de 6,2 millones de cabezas totales (DICOSE, 2021), stock que ha ido disminuyendo en los últimos 25 años. La producción de lana en el año 2020 fue de 25,7 millones de kg base sucia mientras que las exportaciones totales de lanas y productos de la lana fueron de 99,1 millones de dólares (Sul, 2021), siendo China el principal mercado para las lanas uruguayas. Si bien en los últimos años se ha registrado un creciente aumento de la raza Merino Australiano en la majada nacional, la raza Corriedale sigue siendo la mayoritaria (42%) (MGAP- Encuesta Ganadera, 2016). Esta raza doble propósito está caracterizada por poseer diámetros medios, entre 25 y 27 micras (Capurro, 1996). Es importante considerar que, en el primer semestre de 2021, el 30% de la lana exportada en Uruguay fue de diámetros medios, a pesar de que las exportaciones de lana cayeron durante el año 2020, y los negocios concretados fueron en su mayoría con lanas finas (Cardellino, 2021; SUL, 2021).

La lana uruguaya está considerada en el mercado internacional como de buena calidad por su homogeneidad, largo, resistencia a la tracción y rendimiento al lavado (Cardellino, 2008). Sin embargo, en los últimos tiempos y ante la caída del stock y de las cifras de exportación, los industriales topistas han manifestado la necesidad de mejorar la calidad de las lanas, por encontrar restricciones en su competitividad y una importante disminución de su valor frente a lanas de similar diámetro proveniente de otros mercados. Los aspectos que deberían ser mejorados son el alto número de fibras oscuras y meduladas y el color de la lana (Abella, 2011; Raquet, 1997).

El color de la lana, y específicamente aquel luego del proceso de lavado, desempeña un papel importante en la determinación de la calidad y precio de un lote, principalmente porque es el mejor indicador de su potencial de teñido (Wood, 2002). Cuanto más blanca sea la lana, mayor será la gama de colores con la que podrá ser teñida. En lanas de diámetros medios, se han descrito con mayor frecuencia la presencia de colores que se apartan del color blanco, como tonalidades cremosas o amarillas de variada intensidad, que pueden desvalorizar la calidad de un lote. Sin embargo, esta característica ha sido mayormente estudiada en lanas Merino, siendo escasa la información disponible en lanas medias. En general, la información disponible no cuantifica claramente el problema, o sea desde qué grado de amarillamiento se presentan dificultades en la tinción y con qué colores de teñido.

A continuación, se revisan las bases del color de la lana y analiza la evolución y la genética del color natural de la lana, cómo se mide y su importancia en el procesamiento. Esta sección también incluye una revisión del estado actual del

conocimiento sobre factores ambientales que afectan el color de la lana y antecedentes sobre parámetros genéticos del color.

1.1. El color de la capa en los ovinos

Existen diferentes colores de capa de los ovinos. Los ovinos más antiguos poseían un vellón marrón altamente pigmentado, posiblemente muy similar al ovino Muflón salvaje, que todavía habita en localidades de Cerdeña y Córcega. Sin embargo, la mayoría de las razas domésticas modernas son el resultado de miles de años de selección por vellones blancos (Millington, 2009). Los ovinos pigmentados son una minoridad en la mayoría de los países y de las razas ovinas orientadas a la producción de lana (Sponenberg, 1997).

En los últimos años con el avance de las tecnologías genéticas, el control de la capa de los ovinos ha sido extensamente estudiado (Koseniuk et al., 2018; Marín et al., 2018; Vage et al., 2003; Smit et al., 2002; Gagliardi et al., 2001; Parsons et al., 1999; Lu et al., 1994). Así, han sido identificados varios loci (Sponenberg et al., 1997), de los cuales los principales son el locus Extensión y el Agoutí (Jordan and Jackson, 1998; Adalsteinsson, 1970). Ambos controlan la cantidad relativa del pigmento melanina, y su distribución, determinando el color de la capa. Las melaninas son polímeros grandes formados de cantidades variadas de tirosina y cisteína (Jackson, 1994; Prota, 1992) y se presentan de dos tipos, eumelanina y feomelanina. La eumelanina es generalmente negra o marrón chocolate y está compuesta predominantemente de tirosina, mientras que la feomelanina es marrón rojizo y con cantidades variables de cisteína y sus polímeros. Los melanocitos son capaces de formar ambos tipos de melanina, aunque la dedicación a la producción de eumelanina depende de la presencia de la hormona alfa melanocito estimulante, que es una hormona pituitaria (Jackson, 1994).

El locus más importante para la producción de animales blancos o negros es el locus Agouti. En ese locus, el gen W es dominante y determina que la lana sea blanca (Parsons et al., 1997). Pero en los vellones blancos, también se pueden encontrar fibras coloreadas u oscuras. El origen de estas fibras oscuras puede ser ambiental (tinción de las fibras por orina o materia fecal) o genético (fibras pigmentadas, con melanina). Los posibles orígenes de las fibras pigmentadas en vellones blancos pueden ser de lunares en la piel del animal en zonas de vellón y fibras pigmentadas que crecen aisladamente también en zonas de vellón. Esto ha sido estudiado en Australia, sobre todo en la raza Merino (Fleet, 1996; Fleet et al., 2008). En nuestro país, desde el año 2001, la UDELAR ha investigado sobre los factores genéticos y ambientales involucrados en el desarrollo de fibras pigmentadas en Corriedale. En el año 2002 se conectaron genéticamente dos majadas experimentales de las estaciones Bernardo Rossengurt (Facultad de Agronomía) y Migués (Facultad de Veterinaria), se ajustaron protocolos de pigmentación y se determinó su asociación con la presencia de lunares en zonas de vellón (Urioste et al., 2008b; Peñagaricano et al., 2007; Urioste et al., 2007; Kremer et al., 2003). Además, se determinaron parámetros genéticos de fibras pigmentadas y otras características de pigmentación, así como su asociación con otras características de la lana (Sánchez, 2010; Urioste et al., 2008a).

1.2. El color de la lana en vellones blancos- Medición subjetiva y objetiva

Muchas de las características de la lana influyen en la calidad del producto final, así como también, la facilidad y los costos del procesamiento de esa lana (Cottle, 2010b). Estas características son el diámetro de fibra, el color, el largo de mecha, la resistencia a la tracción, el rendimiento al lavado y la presencia de fibras pigmentadas y meduladas y de materia vegetal, entre otras (Roger and Schlink, 2010).

El color de la lana no pigmentada varía según consideremos su estado sucio o limpio. La lana en su estado sucio contiene suarda e impurezas que son removidas luego del lavado y su color varía desde el blanco, tonalidades blanco cremosas hasta el amarillo intenso. Según su presentación se describen tres tipos de coloraciones amarillas de la lana: amarillo difuso, amarillo canario y 'fleece rot' (Thompson, 1989; Henderson, 1968). El amarillo difuso es una coloración removible al lavado que como su nombre lo indica se presenta en forma difusa en el vellón y es ocasionado por la oxidación de pigmentos en la suarda. El amarillo canario se localiza sobre todo en zonas bajas del mismo y está asociado a una mayor proporción de sudor en la suarda, y a la presencia de cromóforos (Dyer et al., 2007). El 'fleece rot' es una coloración dispuesta en bandas horizontales mayormente en la zona dorsal del animal (Henderson, 1968; Abella and Preve, 2010) y en particular ha sido asociado a la presencia de la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* (Burrell et al., 1982). Tanto el amarillo canario como el 'fleece rot' son coloraciones no removibles al lavado.

El color de la lana puede ser evaluado en forma subjetiva (en lana sucia) y medido objetivamente por medio de un colorímetro (en lana limpia o lavada).

1.2.1. Evaluación subjetiva.

En nuestro país, en el acondicionamiento de los vellones en el momento de la esquila, los mismos son clasificados por calidad en vellón tipo A (de buena calidad), vellón tipo A con pintura, vellón tipo L (de buena calidad, pero provenientes de animales con lunares), vellón tipo B (con algún problema de calidad, pero no extremo) y vellón tipo I (vellón de calidad inferior). Éstos últimos incluyen entre otros aquellos vellones que poseen problemas de color amarillo no removible notorio (SUL, 2019, Abella and Piovani, 2021).

En Australia, el color amarillo de la lana sucia se evalúa subjetivamente como "lavable o removible" o "no lavable o no removible" y se le asigna para cada caso una calificación. Al "lavable o removible" se lo califica como M y al "no lavable o no removible" como H, existiendo para este último graduaciones que van desde el H1 (ligeramente no removible) al H3 (severo problema por no removible) (Cottle, 2010b).

Por otra parte, el color también puede evaluarse en forma subjetiva sobre el animal con un mínimo de 6 meses de crecimiento de lana utilizando el "Visual Sheep Scores" (AWI, 2019). Este método de evaluación subjetivo del color fue desarrollado por la Australian Wool Innovation Ltd., y consiste en la revisión del vellón en 3 zonas (paleta, costilla y cuarto), asignándole un valor dentro de un score de 1 a 5, 1 cuando su color es blanco y 5 cuando es amarillo. Usando esta escala de score visual, también

puede evaluarse el grado de severidad del `fleece rot` sobre el animal en 3 zonas a lo largo del lomo del animal.

1.2.2. *Medición objetiva*

La medición objetiva del color de la lana se realiza en lana limpia mediante el uso de un Colorímetro. Este equipo mide la proporción de luz reflejada por la superficie de la muestra en las regiones de color rojo, verde y azul del espectro visible, conocidas como estímulos primarios (Wood, 2002). Bajo las condiciones especificadas por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), estas lecturas se conocen como los valores triestímulos X (rojo), Y (verde) y Z (azul) (IWTO 56, 2010a). Como resultado de la medición objetiva, el color de la lana se expresa en términos de esos valores triestímulos, a través del valor Y-Z que es un indicador de Amarillamiento y el valor Y que representa el Brillo o Luminosidad.

En una primera etapa, la medición del color de la lana estuvo vinculada a un sistema de calibración basado en muestras de lana de referencia con las características Iluminante C y Observador a 2°. Las mediciones se realizaban en lo que se conoce como espacio de color C/2°. A fines del año 2001, la IWTO introdujo un nuevo sistema de calibración en el método, y la norma IWTO-56 se publicó como un método de ensayo completo. Esta norma adicionaba la opción de medir en un nuevo espacio de color (D65/10°), que se estableció utilizando calibraciones de referencia trazable. Se acordó que todos los laboratorios deben certificar en el espacio D65/10°, con la opción de seguir calculando valores en C/2°. Es por esta razón que en la literatura podemos encontrar resultados reportados en ambas escalas de color. En la Tabla 1 se muestran las equivalencias entre ambas escalas de color según fuente de iluminación utilizada.

Los valores de Y-Z pueden variar aproximadamente desde -2 (extremadamente blanco), hasta 12 (amarillo intenso) (IWTO 56, 2010a). Un mayor valor de Y indica mejor color por mayor brillo.

Tabla 1. Escala de color utilizada de acuerdo al valor de Y-Z según fuente de iluminación (D65/10° y C/2°; IWTO 56, 2010a).

Descripción del color	Unidades de Y-Z	
	D65/10°	C/2°
Muy blanco	7	-2
Blanco	8	0
Cremeros	11	3
Amarillo canario	18	12

1.3. El color de las lanas uruguayas

Para la raza Corriedale, los patrones determinan que el grado de amarillamiento (Y-Z) menor a 3 indica un buen color (Abella, 2010). En la caracterización de la lana de

la raza Corriedale en nuestro país, se encontraron valores promedio de Y-Z de 4,2, que es un color crema fuerte con una variación importante de los valores promedios según establecimiento y año, lo que indica la existencia de posibilidades para mejorar este aspecto de la lana (Capurro, 1996).

En coreos de 128 lotes de lana sucia (que representaron casi 800.000 kilos de lana) realizados en Corriedale en 4 zafras sucesivas en nuestro país (Abella and Preve, 2008), se determinó el color de la lana limpia en forma objetiva, encontrándose bajos porcentajes de lotes con valores de Y-Z <3, con variaciones importantes entre años (entre 3 y 26 %). Es necesario precisar que este estudio se realizó sobre coreos de lotes cuya información es usada en muchos casos al momento de comercializar la lana, no existiendo otros datos publicados a nivel nacional. Si los comparamos con datos provenientes de lanas Corriedale de Nueva Zelanda (Peinado et al., 1999), el 63% de las mismas poseían colores menores a 2 unidades de Y-Z. Incluso en estudios más recientes, los resultados de color de la lana limpia determinados en 3 zafras consecutivas en lanas medias en ese país entre 2017-2020 en muestras extraídas por coreo de fardos, se situaron entre 1,4 -1,9 unidades de Y-Z, variando con la estación del año en que la esquila fue realizada y con la localidad (Baxter and Wear, 2021).

Esto sugiere que el color de la lana es una importante característica a mejorar en la lana Corriedale en nuestro país. En estas lanas, al momento no existe diferenciación de precios por color como en el caso de lana Merino en Australia, donde partiendo de un grado de amarillamiento mayor o igual a 1, los descuentos en el precio base varían según el diámetro (AWEX, 2021). En lanas más finas en nuestro país, los valores de color registrados fueron mejores; en la raza Merino Australiano, los valores promedio de Y-Z reportados fueron más bajos (1,9) que en Corriedale, al igual que en la raza Ideal (1,5) (Abella, 2010).

1.4. Importancia del color de la lana en su procesamiento

El color de la lana limpia es una importante propiedad textil, que afecta la performance del teñido (Reid, 1993; Marler and Samuelsdorff, 1987; Whiteley et al., 1980, 1987). Se puede definir la tinción como aquel proceso durante el cual una fibra textil puesta en contacto con la solución o dispersión de un colorante, absorbe a éste de tal forma que el cuerpo teñido tiene resistencia a devolver la materia colorante al baño del cual la absorbió (Cegarra et al., 1981). Esta resistencia a devolver el colorante es una consecuencia de la energía de su unión, dependiendo a su vez de las relaciones existentes entre las estructuras moleculares de dichos cuerpos y de la forma como se ha efectuado la tintura. La temperatura, el pH, la concentración de colorante, y en algunos casos la concentración de productos auxiliares influye tanto en la absorción como en la reacción del colorante y la fibra (Lewis, 2009).

La reflectancia de la lana o curva de reflexión de la luz es una propiedad muy importante a considerar en el teñido. Todos los colores del espectro visible tienen curvas de reflectancia particulares y el conocimiento de las mismas es clave para un teñido

exitoso. Para que el color final sea el deseado, la muestra de lana a teñir debe tener una curva de reflectancia mayor en todo el espectro visible que la curva del color final elegido para teñir (Thompson, 1989). Por tanto, la lana solo puede ser teñida con un tono que tenga menor reflectancia que su color original, salvo que se recurra al blanqueado de la misma. De acuerdo con Clarck and Whiteley (1977), lanas con mayor grado de color (más amarillas) tienen curvas de reflectancia con mayor reflexión de luz en la zona amarilla-roja del espectro y menor en la zona azul-verde. Por tanto, estas lanas tienen problemas en el teñido principalmente de colores azules o verdes, y tendrán menores problemas al ser teñidas de rojo o amarillo. Sin embargo, las lanas con valores de Y-Z muy altos no podrán siquiera teñirse de amarillo o rojo, ya que se comportan de manera distinta frente a los químicos que la lana blanca, por lo que estará limitada a ser teñida con colores oscuros (Reid and Botica, 1995; Bray and Smith, 1999).

Los coloristas suelen utilizar el sistema CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB) para lograr colores específicos en el producto final. El espacio de color del CIELAB (Figura 1) puede ser visualizado como un espacio tridimensional, donde cada color puede ser localizado de manera única y la ubicación de cualquier color en el espacio está determinado por sus tres coordenadas de color: L^* (luminosidad), a^* (rojo/verde), y b^* (amarillo/azul) (Wood, 2010).

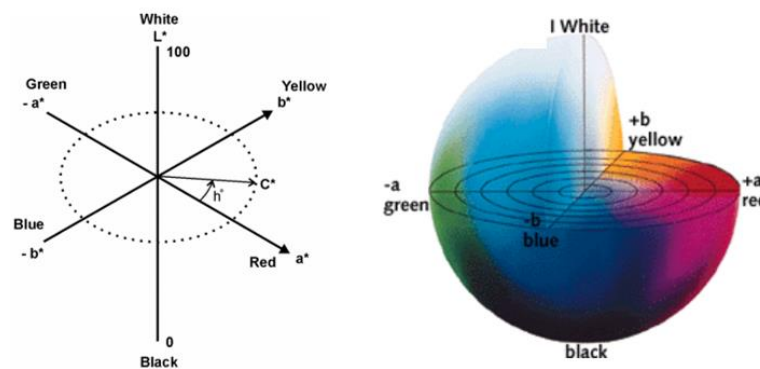


Figura 1. Espacio de color CIELAB (Fuente: Australian Wool Education Trust)

En resumen, el color de la lana limpia indica el potencial de teñido, ya que cuanto más blanca sea, mayor la gama de colores con la que puede ser teñida (Rottenbury, 1984). Lanas con colores amarillos no pueden ser teñidas con colores claros ni tonalidades pastel, limitando el teñido a colores oscuros (Cottle, 2010b). Por lo tanto, la lana con problemas de coloración, requiere de un blanqueamiento previo para ser teñida con colores pastel, procedimiento que aumenta los costos de procesamiento y causa algo de daño en las fibras (Wood et al., 1997).

1.5. Factores predisponentes y determinantes del color

1.5.1. Factores ambientales

El color de la lana sucia es una característica muy influenciada por el medio ambiente (Aitken et al., 1994; Reid, 1998; Sumner et al., 2003), particularmente la presencia de elevada temperatura y humedad, asociándose la presencia de coloraciones amarillas con años lluviosos.

La humedad es central en el desarrollo del 'fleece rot' en Merino Australiano. Esta coloración amarilla se desarrolla después de mojados prolongados del vellón y piel de ovejas susceptibles tanto bajo condiciones naturales como experimentales (Belscher, 1937; Hayman, 1953). Se realizaron varios ensayos en ovinos donde se estudió la relación entre la susceptibilidad del ovino al 'fleece rot' y las características de mojado y secado del vellón. Dichas experiencias se realizaron exponiendo a los animales a lluvias simuladas durante períodos variables de tiempo (desde 5 a 14 días) y se demostró que luego de las mismas aparecían las coloraciones amarillas e incluso costras características (Raadsma et al., 1987, 1989; Dixon et al., 2007).

Estas coloraciones no se presentan en todos los animales ni todos los años, lo que determina una dificultad en la detección de los animales susceptibles y el establecimiento de medidas para disminuir su incidencia. Si bien hay características del vellón y del animal que predisponen la aparición de coloraciones, estas no son suficientes para distinguirlos, siendo la incidencia de las condiciones de humedad y temperatura determinantes. Es posible reproducir esas condiciones a nivel de laboratorio mediante la incubación de lana a alta temperatura y humedad (Reid, 1998). En un ensayo realizado en nuestro país (Neimaur et al., 2009), donde se incubaron muestras de lana Corriedale, se verificó un aumento en el color de la lana limpia medido después de la incubación respecto al Y-Z determinado pre incubación, existiendo diferencias significativas entre ambos valores. Esto indica que la lana sometida a condiciones de laboratorio que imitan un potencial desafío de un ambiente natural, aumenta su color. A su vez, el amplio rango de valores de Y-Z post incubación encontrado (0,2 a 15,7) sugiere la gran variación de respuestas presentes frente a este desafío de laboratorio que simula las condiciones ambientales que predisponen estos cambios de coloración. De acuerdo con Reid (1993), la lana susceptible que no es desafiada medioambientalmente no desarrollaría coloración amarilla.

A pesar de la importancia de los factores climáticos en el color de la lana, estos rasgos no se han evaluado adecuadamente como predictores del amarillamiento de la lana. Además, no se ha descrito aún en la literatura internacional como es la variación estacional del color de la lana limpia a lo largo del año, hecho que se considera esencial para poder comprender el impacto de las precipitaciones, la temperatura y la humedad sobre esta característica.

1.5.2. Factores genéticos

1.5.2.1. Heredabilidad del color de la lana limpia

Además de todas las causas descritas anteriormente que inciden en la presencia de coloraciones amarillas en los vellones, existen factores genéticos involucrados (McGuirk and Atkins, 1984; Benavides et al., 1995).

Las estimaciones de heredabilidad para el color de la lana limpia son variadas, si bien la gran mayoría de las estimaciones reportadas por distintos autores fueron en la raza Merino Australiano. En esta raza, se reportaron valores de heredabilidad para esta característica de magnitud alta ($0,42 \pm 0,14$) en una progenie de 805 animales que poseían un promedio de color de $1,50 \pm 0,79$ unidades de Y-Z (James et al., 1990). Datos similares fueron obtenidos por Hebart and Brien (2009) en un ensayo realizado durante 3 años en 1116 borregos Merino ($0,45 \pm 0,08$). Por el contrario, estimaciones de menor magnitud ($0,13 \pm 0,06$) fueron obtenidos en la raza Romney en Nueva Zelanda (Biggam et al., 1983).

En la raza Corriedale, los datos publicados de heredabilidad del color de la lana limpia son muy escasos. A nivel internacional, en Nueva Zelanda fueron estimados valores de heredabilidad de $0,27 \pm 0,13$, con un promedio de color de $0,83 \pm 0,78$ unidades de Y-Z en una progenie de 438 animales y 19 padres (Benavides and Maher, 2003). Sin embargo, a nivel nacional, no existen datos publicados en la literatura.

1.5.2.2. Correlaciones genéticas del color de la lana limpia con características de la lana medidas en forma objetiva

El diámetro medio (DM) de las fibras es la propiedad más importante de la lana, representa aproximadamente el 75% del valor del top (Bell and Ainsworth, 1984) y es también determinante de su uso final. Las lanas finas se utilizan para la fabricación de casimires y tejidos finos mientras que las lanas gruesas para tejidos de punto, alfombras y tapicería (Cottle, 2010b).

Los reportes de estimaciones de correlaciones genéticas del DM con el Y-Z son de variada magnitud en la literatura. En la raza Merino Australiano se han reportado correlaciones genéticas entre ambas variables de mediana magnitud (0,33 y 0,57; Raadsma and Wilkinson, 1990, y Hebart and Brien, 2009, respectivamente) y también de alta magnitud en Merino ultrafino (0,62; Wuliji et al., 2001). Más recientemente, Smith and Purvis (2009) trabajando con 9 líneas de finuras fina/superfina y 2 líneas de finura media (11856 animales de 473 padres) determinaron que, al año de edad, de las características del vellón, el diámetro de fibra fue la característica que presentó correlaciones genéticas mayores con el Y-Z (0,52). Estas correlaciones indicarían que la progenie de animales con diámetros de fibra más finos, posiblemente presenten lanas más blancas.

En la raza Corriedale, las estimaciones realizadas son aún de mayor valor (0,93; Benavides and Maher, 2002). Sin embargo, en razas de lana gruesa (Romney, Perendale, Coopworth, cruza Texel y Dorset), se reportaron estimaciones muy bajas (Bray and Smith, 1999). En cuanto a la correlación genética de la luminosidad con el DM, se reportan correlaciones de -0,42 en Corriedale (Benavides and Maher, 2000) y de muy baja magnitud en Merino ultrafino (0,16; Wuliji et al., 2001).

La variabilidad del diámetro suele expresarse como el coeficiente de variación del mismo. Los valores típicos oscilan entre el 20% y el 30%, con valores ligeramente más altos para lana más gruesa. Esta variabilidad contribuye a las características del hilo producido. En el caso de los hilos de lana, influye en el posicionamiento de las fibras en la sección transversal del hilo. Al aumentar el CVD aumenta la irregularidad posterior del hilo y afecta al rendimiento del hilado y a algunas propiedades del tejido, por ejemplo, aumenta la rigidez del mismo (Cottle, 2010b). Las correlaciones genéticas reportadas entre el CVD y el Y-Z han sido de baja a muy baja magnitud en Merino (-0,03- -0,25, Hebart and Brien, 2009, Mortimer et al., 2009). En Merino ultrafino, siguen la misma tendencia (Wuliji et al., 2001), mientras que en Corriedale no hay datos publicados.

El peso del vellón sucio (PVS) es la lana total esquilada de la oveja e incluye el peso de la fibra limpia, la cera y el sudor (suarda), tierra y materia vegetal. El Peso del vellón limpio (PVL) es fundamental para el valor comercial (Thornberry et al., 1984) y varios factores contribuyen con el mismo, ya que el área total donde crece lana es una combinación de la superficie corporal y del grado de arrugas, del peso de la lana por unidad de área de piel, la longitud de la fibra, el área promedio de la sección transversal de la fibra y la densidad de fibra (Cottle, 2010b).

Las correlaciones genéticas reportadas del PVS y PVL con el Y-Z son variables. En la raza Corriedale, se estimaron correlaciones medias entre el Y-Z y el PVS (0,44), y altas con PVL (0,91) (Benavides and Maher, 2002). Esta correlación desfavorable indicaría que, al seleccionar animales por peso de vellón, es probable que su progenie tuviera valores de Y-Z elevados en su lana. Por el contrario, en las razas Romney, Perendale, Coopworth, cruza Texel y Dorset, se reportaron bajos valores para la asociación con el PVS (0,06) (Bray and Smith, 1999), al igual que en la raza Merino Australiano (0,27; Raadsma and Wilkinson, 1990).

El rendimiento al lavado si bien no es específicamente una característica de la lana, es muy importante en el procesamiento industrial y es la cantidad de lana utilizable a un “regain” o % de humedad estándar (Cottle, 2010b). Las asociaciones genéticas determinadas entre esta característica y el Y-Z fueron de baja magnitud en la raza Corriedale (0,36; Benavides and Maher, 2000). Sin embargo, en la raza Merino Australiano se reportaron valores un poco superiores (0,45; Raadsma and Wilkinson, 1990).

En cuanto al largo de mecha (LM), las correlaciones genéticas reportadas en la literatura son escasas y refieren a la raza Merino. Estas correlaciones fueron de magnitud muy baja (0,05; Hebart and Brien, 2009) y baja (0,37; Wuliji et al., 2001). No se reportan correlaciones genéticas del Y-Z con la resistencia de mecha en la bibliografía consultada.

1.5.2.3. Correlaciones genéticas del color de la lana limpia con características de la lana de evaluación visual

El “estilo” es un conjunto de características de la lana que se consideran de importancia para el procesador y que se evalúan mediante los sentidos de la vista y el tacto. Sus componentes son el carácter, el grosor de la mecha, el color, la penetración de tierra, el toque y el entrecruzamiento de las fibras (Cottle, 2010b; Crook et al., 1994). El carácter es el grado de definición del rizo y las variaciones en su frecuencia, por tanto, mide una serie de factores como la regularidad y repetibilidad del rizo a lo largo de la mecha. El grosor de mecha se mide a partir de varias mechas en un vellón e indica el espesor de las mismas. El toque se refiere a la suavidad o aspereza del vellón y es un buen indicador indirecto del diámetro de fibras. El entrecruzamiento se refiere a la separación de las mechas. Estas características de apreciación subjetiva son indicativas de otros caracteres del vellón de importancia económica (Lipson, 1978).

En la raza Corriedale no existen en la literatura datos de correlaciones genéticas del Y-Z con estas características evaluadas subjetivamente, excepto para el color sucio. En la raza Merino Australiano, los datos reportados para esta asociación son escasos y estiman valores de baja a muy baja magnitud con el toque y con la penetración de tierra (-0.31 y 0.35, respectivamente; Hebart and Brien, 2009).

En cuanto al color de la lana sucia y su asociación con el Y-Z, las estimaciones reportadas hasta el momento a nivel internacional son variadas. En Merinos del sur de Australia se encontró una fuerte asociación entre ambas variables ($0,87 \pm 0,13$; James et al., 1990). Contrariamente, en estudios realizados en Merino fino y superfino (Smith and Purvis, 2009) se observó que el color de la lana sucia y limpia estuvieron pobremente correlacionados genéticamente tanto al año como a la edad adulta (0,13 y 0,18, respectivamente). Sin embargo, una correlación genética mayor ($0,40 \pm 0,28$) fue reportada en Corriedale en Australia por Benavides et al. (1998).

En la raza Corriedale, las estimaciones de heredabilidad del color de la lana sucia determinado por score visual en más de 400 animales fueron $0,44 \pm 0,14$ (Benavides and Maher, 2003). Datos similares fueron obtenidos en Merinos del sur de Australia ($0,42 \pm 0,13$; James et al., 1990). Más recientemente, se estimaron valores de heredabilidad de $0,34 \pm 0,02$ en 6500 registros de animales de la raza Merino Australiano (Mortimer et al., 2009) y de $0,31 \pm 0,03$ en un estudio realizado en la misma raza con 7600 registros (Brown, 2006). Una estimación mayor de heredabilidad de esta característica ($0,53 \pm 0,01$) fue reportada también en Merino en un estudio realizado en 4000 animales en Australia (Hebart and Brien, 2009).

1.5.3. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia

1.5.3.1. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia con características de la lana medidas en forma objetiva

Las estimaciones reportadas a nivel fenotípico entre el color de la lana limpia y características de la lana evaluadas en forma objetiva son en general de baja magnitud. En Merino Australiano, la asociación entre el Y-Z y el diámetro promedio fue de 0.11-0.14 (James and Ponzoni, 1983; Raadsma and Wilkinson, 1990). Respecto a la

luminosidad, las escasas estimaciones existentes, describen una correlación fenotípica de baja magnitud con el diámetro promedio (-0,04- -0,18) (Raadsma and Wilkinson, 1990; Benavides and Maher, 2000). Algunos autores han tratado de explicar el porqué de la asociación del color con el diámetro promedio (Dyer et al., 2007). El color de la lana está relacionado con los efectos ópticos que surgen debido a las características de la superficie de la fibra de lana. Cuando la luz incide sobre la misma, una parte se refleja, otra se absorbe y otra se transmite por las fibras de lana en diferentes proporciones. Las fibras más finas tienen una mayor relación superficie/masa y una forma transversal más regular. En consecuencia, la superficie exterior de la fibra refleja mucho la luz, lo que da lugar a un brillo más ligero, suave y reflectante que el de las fibras más gruesas (Cottle and Baxter, 2015).

No solamente el diámetro promedio es relevante, también lo es la variabilidad del diámetro dentro de los vellones. Una menor variabilidad de diámetro de fibra resultaría en vellones más estructurados, con puntas más consolidadas y menos puntiagudas y mechas mejor definidas, que resultan más difíciles de mojar. Por tanto, ovinos con menor coeficiente de variación del diámetro de lana, serían más resistentes al amarillamiento (Watts et al., 1981).

En relación al brillo de la lana, los resultados reportados de correlaciones fenotípicas con el diámetro promedio además de ser escasos, son de muy baja magnitud (-0.05; Cottle, 1996).

En cuanto al peso de vellón sucio y limpio, las correlaciones fenotípicas con el amarillamiento reportadas en la literatura son de muy baja a baja magnitud tanto en Merino como en Corriedale (-0.01-0.21; Cottle, 1996, Wuliji, et al., 2001, Benavides and Maher, 2002, Hebart and Brien, 2009). Las correlaciones fenotípicas con el brillo también son bajas (-0.01- 0.10; Cottle, 1996, Wuliji et al., 2001).

En Merino Australiano, las correlaciones estimadas entre la resistencia de mecha y el Y-Z son de muy baja magnitud (0,07; Smith and Purvis, 2009), al igual que las correlaciones con el largo de mecha (0,04; Smith and Purvis, 2009). En estudios realizados en nuestro país en la raza Corriedale se reportan asociaciones positivas entre Y-Z y el LM, mostrando los animales con mechas más cortas, valores menores de Y-Z, frente a los de mecha larga. Esto sugeriría que posiblemente la humedad se mantenga más tiempo en las mechas de mayor longitud, predisponiéndose al amarillamiento de la lana (Neimauro et al., 2009). Estos resultados son consistentes con los encontrados en razas de lana gruesa (Romney, Perendale, Coopworth, cruza) por Bray and Smith (1999), en las que se realizan más de una esquila por año. Reid (1998), trabajando con las razas Coopworth, Perendale y Romney, encontró mayor predisposición al amarillamiento en muestras de lana larga en verano, frente a muestras de lana corta tomadas durante en invierno. El autor realizó un seguimiento de las esquilas realizadas en Nueva Zelanda desde 1987 hasta 1994, y asoció la relación entre largo de mecha y el Y-Z a la época de la esquila, ya que de manera consistente la lana esquilada en verano,

de mayor largo que la esquilada en invierno, tendió a mostrar valores de Y-Z mayores que la lana esquilada en otoño.

1.5.3.2. Correlaciones fenotípicas del color de la lana limpia con características de la lana de evaluación visual.

A nivel fenotípico, si bien los resultados en la literatura son variados, coinciden en que existe una baja correlación entre el color de la lana sucia estimado a través del score visual y el Y-Z. En Corriedale, se ha reportado un valor para esta correlación de $0,21 \pm 0,05$ (Benavides and Maher, 2003), y en Merino los resultados obtenidos fueron $0,19-0,33$ (Pattinson and Whiteley, 1984) y $0,08$ (Smith and Purvis, 2009). Por otra parte, Hebart and Brien (2009) estimaron una correlación fenotípica de $-0,15 \pm 0,03$, pero utilizando un score subjetivo de 1 a 4, donde 1 era color amarillo y 4 color blanco.

De acuerdo con Bray and Smith (1999), la correlación fenotípica entre el Y-Z y las características de la lana evaluadas visualmente es baja en razas Romney, Perendale, Coopworth y cruza. De acuerdo con estos autores, las correlaciones bajas estimadas a nivel fenotípico entre el Y-Z y las características subjetivas pueden explicarse por la poca variabilidad de las mismas en los animales estudiados. Además, como lo indica la propia medición de estas características, la influencia del observador es muy importante.

En conclusión, el color de la lana limpia es una característica que puede ser medida en forma objetiva y determinante de la gama de colores posibles de ser utilizados durante el proceso de tinción. El color es una característica muy influenciada por el medio ambiente, generalmente la presencia de coloraciones amarillas con años lluviosos, si bien no existen estudios a nivel de campo en la literatura internacional o nacional que avalen estas premisas. En lanas de diámetros medios como la Corriedale, la mejora de esta característica permitirá el acceso a mercados de calidad. Pero la inclusión de esta característica en planes de mejora genética implica el conocimiento de su variabilidad genética y asociación con otras características del vellón. Los antecedentes en este aspecto en la raza Corriedale son escasos, por lo que sería fundamental la profundización del estudio en esta área.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La lana uruguaya es apreciada en el mercado internacional como de buena calidad. Consideraciones realizadas por industriales laneros uruguayos indican que la brecha de precios entre diferentes calidades está creciendo y que las posibilidades de venta y los clientes aumentan a mayor calidad de lanas. Aquellos mercados internacionales en los que se pueden obtener mejores precios para las lanas medias demandan tops de 26-27 micras, con buenos niveles de color. En nuestro país las lanas medias son producidas mayoritariamente por la raza Corriedale que representa el 42% de la majada nacional. De acuerdo a datos reportados por Abella and Preve (2008) provenientes de la evaluación de cuatro zafras consecutivas de lana Corriedale, el porcentaje de lotes con valores de Y-Z menor a 3 unidades fue bajo (3- 26 %). Por otra parte, el color es una característica de importancia en el proceso industrial de la lana, específicamente en su tinción con colores claros. Si bien la incidencia de colores que se apartan del blanco aumenta en lanas medias y gruesas, no hay información experimental en la literatura que describa el comportamiento de este tipo de lanas en la tinción con tonalidades pastel. Dada esta situación se consideró que un primer paso en la presente investigación debía ser el de validar las sugerencias de la industria sobre la importancia de producir lanas más blancas con estos diámetros, y cuantificar el efecto del color de la lana limpia sobre la tinción con colores pastel.

La presencia de coloraciones que se apartan del color blanco (cremosas a amarillas intensas) son un problema frecuente en animales susceptibles cuando las condiciones meteorológicas que las predisponen están presentes. Las coloraciones amarillas no se presentan todos los años, lo que hace que su estudio sea complejo y que por tanto sea importante caracterizar su presentación particularmente bajo las condiciones meteorológicas de nuestro país. La temperatura media anual en Uruguay es de 17 °C; las temperaturas más altas se presentan en los meses de enero y febrero y las más bajas en junio y julio. La precipitación media anual total tiene su valor mínimo hacia el sur del territorio, con casi 1000 mm, y su máximo hacia el noreste, con 1400 mm. Además, las precipitaciones se caracterizan por su extrema irregularidad y variabilidad. La humedad relativa media anual oscila entre el 70% y el 75% (INUMET, 2020). Estas características meteorológicas posiblemente sean un desafío especial para la lana, sobre todo si consideramos que el Merino en el mundo se cría mayormente en zonas desérticas y semidesérticas (Cottle, 2010a).

Es importante destacar que en Uruguay o en la literatura internacional no existen datos publicados que asocien los cambios en el color de la lana con factores meteorológicos, así como tampoco que consideren la relación entre la localización de coloraciones amarillas en el vellón con los mismos, ni las fuentes de variación involucradas. Solo existen investigaciones realizadas en laboratorio, con condiciones controladas de los parámetros meteorológicos. Por lo tanto, se consideró importante el evaluar en condiciones de campo cuales son los factores climáticos que afectan el color de la lana a lo largo del año.

Para abordar la mejora del color en lanas medias, una opción es a través de la selección de animales. Pero esto requiere el conocimiento de parámetros genéticos del color (heredabilidad, correlaciones genéticas y fenotípicas) particularmente en esta raza y con las condiciones ambientales locales. Posiblemente, de esta forma pueda iniciarse un proceso que culmine con la posibilidad de incluir esta característica en la evaluación genética de la raza.

En conclusión, el presente trabajo intenta abocarse a aportar información relevante atendiendo los problemas planteados.

3. HIPÓTESIS

En esta investigación nos planteamos las siguientes hipótesis:

- El color de la lana limpia en Corriedale (expresado como unidades de Y-Z) afecta el color adquirido luego de la tinción con colorantes de tonalidades pastel.
- El color de la lana limpia es una característica afectada por la humedad, temperatura y precipitaciones acumuladas, en forma diferente de acuerdo a la estación del año considerada y según la zona del vellón.
- El color de la lana limpia es variable genéticamente en Corriedale y está correlacionado genéticamente con algunas características del vellón.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general:

Estudiar el color de la lana limpia en ovinos de la raza Corriedale: su importancia en la tinción, los factores climáticos que lo afectan, su variabilidad genética y asociación con otras características del vellón de importancia económica y que pudieran ser utilizadas como criterio de selección.

4.2. Objetivos particulares:

a) Estudio de los efectos del color de la lana limpia sobre la tinción

- 1- Evaluar el efecto de la variación del color de la lana limpia sobre el color adquirido luego de la tinción de la misma con tonalidades pastel en lana Corriedale.
- 2- Determinar si existe interacción entre el color de la lana limpia y los colorantes de tonalidades pastel utilizados para la tinción.

b) Estudio de factores ambientales que afectan el color de la lana

- 1- Determinar los efectos de variables climáticas sobre el amarillamiento y el brillo de la lana a lo largo del año.
- 2- Estudiar la variación estacional del color de la lana limpia en dos zonas del vellón, costilla y lomo.

c) Estudio de la variabilidad genética del color de la lana

- 1- Determinar si el color de la lana limpia expresado en diferentes estaciones del año es genéticamente la misma característica o se expresa de forma diferente a lo largo del tiempo.
- 2- Determinar los parámetros genéticos del color de la lana limpia, heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas con características de la lana medidas objetivamente y evaluadas visualmente.

5. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

En base a las hipótesis y objetivos planteados se planteó la siguiente estructura de experimentos:

Experimento I: El planteo de los industriales de mejorar el color de lanas de finuras medias y la no existencia de investigaciones que describan los efectos del color de la lana limpia en la tinción con colores claros, nos condujo a plantearnos este primer experimento. El objetivo específico de este ensayo fue evaluar el efecto de la variación del color de la lana limpia sobre el color adquirido luego de la tinción de la misma con tonalidades pastel en lana Corriedale y si existe interacción entre el color de la lana limpia y los colorantes utilizados para la tinción. De aquí surge la siguiente publicación:

- Colour of Corriedale wool and its effect on dyeing (2018). Neimaur K , Fernandez A , Perez V , Sienna I , Urioste JI, Kremer R. International Journal of Advanced Research 6 (8), 1163-1169.

Experimento II: Se plantea estudiar los efectos ambientales y genéticos que afectan el color de la lana limpia en borregos/as de la raza Corriedale.

El primer objetivo específico de este ensayo fue determinar los efectos de variables climáticas sobre el amarillamiento y el brillo de la lana a lo largo del año. Además, se planteó estudiar la variación estacional del color de la lana limpia en dos zonas del vellón, costilla y lomo. De aquí surge la siguiente publicación:

- Neimaur K, Urioste JI, Naya HB, Sanchez AL, Sienna I, Kremer R (2021). Climatic and genetic effects in seasonal measurements of colour in Corriedale wool. Small Ruminant Research 201, 106449. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106449>

En este experimento también se plantea estudiar la variabilidad genética del color de la lana limpia. El segundo objetivo específico de este experimento fue estimar parámetros genéticos del color de la lana limpia (heredabilidad, correlaciones genéticas y fenotípicas con otras características de la lana). De aquí surge la siguiente publicación:

- Opportunities of selection for better wool scoured colour: heritability, genetic and phenotypic correlations with fifteen wool traits in Corriedale sheep. Neimaur K, Kremer R, Naya H, Sienna I, Urioste JI. Al momento de la defensa se encuentra en etapa de revisión en la revista Small Ruminant Research (enviado 9/9/2021)

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Experimento 1 (Artículo I)

Estudio de los efectos del color de la lana limpia sobre la tinción

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Lanasy del Departamento de Ovinos, Lanasy Caprinos (FVET, UDELAR) y en el Laboratorio del Departamento Textiles, Lana Bruta, Tops y Cueros del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

6.1.1. Preparación de muestras de lana

Para este experimento fueron utilizadas muestras de lana extraídas durante las esquilas efectuadas en el Campo Experimental N° 1 de Facultad de Veterinaria (Migues, Canelones) y en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt de Facultad de Agronomía (Bañado Medina, Cerro Largo). Inmediatamente luego de su extracción, en el Laboratorio de Lanasy del Departamento de Ovinos, Lanasy Caprinos de FVET, las muestras fueron colocadas en una bolsa de malla para su lavado en un tren de lavado de 4 piletas, con agua caliente y un detergente no iónico diluido al 25% en las tres primeras piletas. Las muestras fueron centrifugadas para eliminar el exceso de agua y secadas posteriormente en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60°C durante 3 horas. A continuación, las mismas fueron acondicionadas en el laboratorio durante 12 horas a una temperatura de 20°C ± 2 y 65% ± 3 % de humedad relativa.

La medición objetiva del color de la lana limpia se realizó con el equipo HunterLab Miniscan XE para lana (IWTO 56, 2010a). Se obtuvieron valores de Índice de amarillamiento (Y-Z) y luminosidad o brillo (Y). De acuerdo al valor de Y-Z obtenido, dichas muestras fueron clasificadas en 5 grupos según la escala descrita en el Tabla 2, y teniendo en cuenta para la realización de dicha escala los valores de Y-Z obtenidos en la caracterización de la lana Corriedale en Uruguay (Capurro, 1996).

Tabla 2. Índice de amarillamiento (Y-Z) promedio de los diferentes grupos de muestras preparados.

Grupo	Y-Z
1	0,5- 1,0
2	2,0- 2,5
3	4,0- 4,5
4	>7,0
5 (Control)	<0,0

Las muestras así seleccionadas dentro de cada rango de color fueron mezcladas y cardadas en un equipo de cardado industrial en el Laboratorio del Departamento Textiles, Lana Bruta, Tops y Cueros del LATU, obteniendo 5 cintas de carda

homogéneas de aproximadamente 1 kg cada una. Luego del cardado, de cada cinta se extrajeron 10 submuestras para determinación del Y-Z, con el objetivo de realizar un chequeo de homogeneidad del color de las mismas. Asimismo, se determinó el diámetro promedio y coeficiente de variación del diámetro con el equipo Sirolan Laserscan (IWTO 12, 2010c).

6.1.2. Tinción de las muestras de lana

Para la tinción de las muestras se utilizaron tres colorantes ácidos: Blue Erionyl AR, Yellow Erionyl A-3G y Red Erionyl A-3G. El procedimiento de teñido se realizó en un equipo de teñido Roaches. Cada cinta de carda de lana (Grupos 1 a 4) se tiñó con los 3 colorantes, por lo que se realizaron 12 procedimientos de tinción. El equipo contaba con 10 contenedores de metal, por lo tanto, para cada proceso de tinción, se utilizaron 10 muestras de 4 g de lana, 9 de la cinta de carda correspondiente y 1 muestra de la cinta control (Y-Z menor a cero).

Se preparó un baño de tinción general con 2000 ml de agua, ácido acético (gotas) y el colorante seleccionado. La cantidad de colorante utilizado para cada color y cinta de carda fue de 0.0008 g para Yellow Erionyl A-3G y Blue Erionyl AR y 0.0003 g para Rojo Erionyl A-3G. La proporción del baño fue 1/50 (gramo de lana / 50 ml de agua). Las muestras de lana fueron sumergidas previamente en agua para humedecerlas. En cada contenedor de metal se añadió en primera instancia el baño de tinción (200 ml) y luego se agregó la muestra de lana húmeda. Previo a la colocación de los contenedores metálicos en el interior del equipo de tinción, este último fue llevado a una temperatura de 40 °C. La elevación de la temperatura del baño fue de 1°C por minuto, hasta los 98 °C, temperatura a la cual las muestras estuvieron durante 40-60 minutos y a partir de este momento, la temperatura del baño se bajó a 80°C (Huntsman International LLC, 2007). Finalmente, las muestras de lana se secaron al aire y se cardaron manualmente.

6.1.3. Medición de color

La medición del color de las muestras teñidas se realizó utilizando un espectrofotómetro Hunterlab Miniscan XE con iluminante D65 y observador 10° (geometría 45 °/0 °). Los datos obtenidos fueron coordenadas L*, a*, b*.

6.1.4. Análisis estadístico

Se determinó la media y el desvío estándar de L*, a*, b* de las cuatro cintas de carda evaluadas y de la cinta control teñidas con los 3 colorantes. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto del color inicial de la cinta de carda (Grupo 1: Y-Z 0,5-1, Grupo 2: Y-Z 2-2,5, Grupo 3: Y-Z 4-5, Grupo 4: Y-Z>7) y el efecto del colorante utilizado (Azul Erionil AR, Erionil A-3G amarillo y Erionil A-3G rojo) sobre las características colorimétricas; asimismo, se determinaron las interacciones entre estos efectos. La diferencia total de color de las muestras teñidas se calculó a partir de las coordenadas L*, a*, b* aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Diferencia total de color } (\Delta E) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde $\Delta L = L^*$ muestra - L^* estándar o control; $\Delta a^* = a^*$ muestra - a^* estándar o control; $\Delta b^* = b^*$ muestra - b^* estándar o control (ASTM Standards, D2244-11, 2011).

Se ajustó una regresión lineal múltiple para obtener las ecuaciones de predicción de ΔE de las variables ΔL , Δa y Δb . Todas las evaluaciones estadísticas se realizaron con el programa estadístico STATA (Statacorp., 2011).

6.2. Experimento 2 (Artículos II y III)

Estudio de factores ambientales y genéticos que afectan el color de la lana

6.2.1. Lugar del experimento y manejo de los animales

El experimento se realizó en dos rebaños de la raza Corriedale en la Estación Experimental N°1 (Migues) de la Facultad de Veterinaria (34,22° S, 55,36° O) y en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt de la Facultad de Agronomía (32,35° S, 54,15° O) en Uruguay. Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética Animal de la Facultad de Veterinaria- Universidad de la República (CEUAFVET-PI-15/14, 22/5/2014).

Cada rebaño estaba compuesto por 300 ovejas, las que fueron encarneradas en el mes de abril, y la parición fue en septiembre. Durante todo este período las ovejas realizaron un pastoreo conjunto con bovinos sobre campo natural (promedio de 2500 kg MS/año/ha). Los corderos se destetaron en el mes de diciembre y se esquilieron aproximadamente a las 15 semanas de edad, antes del inicio del ensayo. El experimento se llevó a cabo con estos corderos destetados (machos y hembras) durante el año siguiente a su nacimiento, desde el verano hasta el final de la primavera (enero a noviembre en el hemisferio sur), y durante un período de tres años, evaluándose 3 generaciones de animales.

6.2.2. Base de datos

Ambos rebaños estuvieron bajo un diseño experimental consistente en familias de medio hermanos paternos y fueron conectados genéticamente mediante el uso común de carneros. Estos carneros comunes tuvieron descendencia en los rebaños y fueron utilizados durante más de un año. El número de animales evaluados por año y estación experimental, el número de carneros y la progenie media del grupo se muestran en la Tabla 3. Se utilizó un total de 1181 borregos nacidos de 23 carneros Corriedale con un tamaño medio de progenie de 41 crías. Además, en la base de datos se registró el sexo de los corderos (macho/hembra) y el tipo de nacimiento (único/mellizo).

Tabla 3. Número de animales, carneros y tamaño medio de los grupos de progenie evaluados en las estaciones experimentales de Miguez y Bernardo Rosengurtt en un período de tres años.

Año	Miguez			Bernardo Rosengurtt		
	Animales	Padres	Tamaño medio del grupo de la progenie	Animales	Padres	Tamaño medio del grupo de la progenie
2012	228	6	35	328	13	32
2013	111	6	18	259	8	32
2014	184	7	26	261	7	37

6.2.3. Muestreo de lana y mediciones

Se tomaron muestras de lana (20 g cada una) de la zona media de costilla izquierda y de la zona dorsal del lomo del animal cada 3 meses, hasta la esquila del vellón al año de edad (en verano, otoño, invierno y primavera) para determinar el color de la lana limpia (Figura 2). Cada muestra de lana tenía su longitud de mecha completa según el momento del muestreo, ya que se realizó el mismo teniendo la precaución de no tomar la muestra exactamente del mismo sitio del cuerpo que las muestras anteriores. En el Laboratorio de Lanas del Departamento de Ovinos, Lanas y Caprinos, las muestras de lana se lavaron en un tren de lavado compuesto por cuatro piletas con agua y un detergente no iónico. A continuación, se secaron a 30°C y se acondicionaron a 20°C ± 2 y 65% ± 3 de humedad relativa. El color de la lana se midió con un colorímetro HunterLab Miniscan XE y se expresó como Y-Z e Y (IWTO 56).

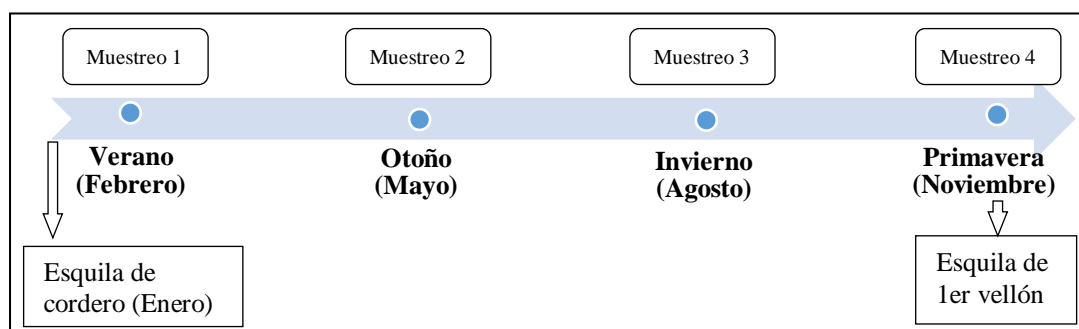


Figura 2. Esquema de muestreo de lana en los animales a lo largo del año.

En el momento de la esquila del primer vellón (primavera) se registró el peso de vellón sucio y se extrajo además una muestra de lana de zona media de costilla derecha de 200g para determinación de otras características de la lana. En el Laboratorio de Lanas del Departamento de Ovinos, Lanas y Caprinos, se realizaron en esa muestra las siguientes mediciones objetivas de la lana:

1. *Rendimiento al lavado (R%) y Peso de vellón limpio*: se pesaron 100 gr de lana sucia extraída de zona de costilla y se colocaron en una bolsa de malla identificada. El lavado de las muestras se realizó en un tren de lavado de 4 piletas, con agua caliente y un detergente no iónico diluido al 25% en las tres primeras piletas. Las muestras fueron centrifugadas para eliminar el exceso de agua y secadas posteriormente en una estufa de aire forzado a una temperatura de 105°C durante 3 horas. Luego se retiraron de la bolsa de lavado y se acondicionaron en el Laboratorio durante 12 horas a una temperatura de 20°C ± 2 y 65% ±3 % de humedad relativa, para pesar las muestras en condiciones estándares. A continuación, se pesó la muestra acondicionada (Peso Acondicionado), se corrigió por humedad y se realizó el cálculo del Peso de vellón limpio (IWTO 33, 2010d).
2. *Largo de mecha (LM)*: se midió con regla el promedio del largo de 5 mechales de lana sucia tomadas al azar y se expresó en cm (IWTO 30, 2010b).
3. *Resistencia de mecha (RM)*: se determinó en 5 mechales de lana sucia con el equipo Agritest. Se expresó en Newtons/ktex (IWTO 30, 2010b).
4. *Diámetro promedio (DM) y variabilidad utilizando el equipo Sirolan Laserscan*: se extrajo una submuestra de aproximadamente 10g de lana de la muestra extraída de zona de costilla, la cual fue lavada y secada de acuerdo a la norma (IWTO 12, 2010c). Las muestras así preparadas fueron enviadas al Laboratorio del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL) para su medición. Se determinó diámetro promedio (DM), coeficiente de variación del diámetro (CVD) y porcentaje de fibras mayores a 30µm (%F>30).

Un mes antes de la esquila del primer vellón de los animales se revisó la majada y se evaluaron en los vellones en forma subjetiva utilizando el “Visual Sheep Scores” (desarrollado por la Australian Wool Innovation Ltd.), los siguientes parámetros:

1. *Color de la lana (CO)*: se evaluó abriendo el vellón en 3 sitios- lado de la paleta, zona media de costilla y cuarto; asignándole una puntuación dentro de un score de 1 a 5, siendo 1 cuando el color era más blanco y brillante y 5 cuando era amarillo. El puntaje más alto de las 3 zonas evaluadas fue el registrado.
2. *Carácter (CA)*: se evaluó en 3 zonas del vellón- lado de la paleta, zona media de costilla y cuarto; asignándole un puntaje dentro de un score de 1 a 5, 1 cuando el rizo estaba bien definido a lo largo de toda la mecha de lana, 5 cuando no tenía definición de rizo. El puntaje registrado fue el más alto de las 3 zonas evaluadas.
3. *Penetración de tierra (PT)*: se realizó en 3 zonas del vellón a lo largo de la línea dorsal del lomo. Se utilizó también un score de 1 a 5, 1 cuando la mecha

no tenía penetración de tierra con solamente la punta de la lana afectada por la misma (<5% de la mecha), 5 cuando la penetración de tierra se disponía en casi todo el largo de la mecha (80 a 100% de la mecha).

4. *Estructura de la mecha (EM)*: describe el grosor de la mecha y se evaluó en 3 sitios- lado de la paleta, zona media de costilla y cuarto, registrándose el puntaje más alto obtenido. Se aplicó un score de 1 a 5, 1 cuando el grosor de la mecha fue menor de 5mm, 5 cuando el grosor de la misma fue de 30 a 50mm.

Además, se evaluó el *toque o suavidad (TO)* en 3 zonas del vellón (paleta, costilla y cuarto), utilizando la escala de 1 a 5, donde 1 cuando la lana es muy suave y 5 cuando es muy áspera al tacto. El puntaje registrado fue el más alto de las 3 zonas evaluadas. También se determinó entrecruzamiento de las fibras (EF) utilizando una escala de 1 a 5, 1 cuando no hay entrecruzamiento de fibras entre las mechas, 5 cuando el entrecruzamiento es severo y registrándose el puntaje más alto de las 3 zonas evaluadas (Crook, 1989).

6.2.4. Datos climáticos

Los datos climáticos fueron proporcionados por la Dirección Nacional de Meteorología (Uruguay). Estos datos consistieron en registros diarios promedio de temperatura máxima (T_{máx}) y humedad relativa (HR) de estaciones meteorológicas ubicadas cerca de las estaciones experimentales. Las precipitaciones (R) se registraron diariamente en cada estación experimental y los registros de evapotranspiración fueron proporcionados por estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA; Uruguay).

6.2.5. Análisis estadístico

6.2.5.1. Factores ambientales y genéticos del color limpio

Los datos se analizaron con el paquete R (R Development Core Team, 2018). Los análisis estadísticos fueron de complejidad creciente. En primer lugar, se realizó una estadística descriptiva de la media y desviación estándar, máximo y mínimo del color de la lana limpia (amarillamiento y brillo) en los sucesivos tiempos de muestreo. En segundo lugar, se estimaron las diferencias entre las zonas de muestreo (zona media de costilla y zona dorsal del lomo), mediante el uso simple de la prueba t (Student) para las diferencias entre medias. En tercer lugar, se aplicó un enfoque de selección de modelos.

El proceso de selección de modelos se describe en detalle en el Artículo 2. El principal criterio de comparación de los modelos fue el Criterio de Información Bayesiano (BIC). Dicho proceso incorporó tanto la consideración de las variables ambientales que debían incluirse como los períodos en los que debían resumirse las variables climáticas. Las variables ambientales se dividieron en dos grupos: las variables climáticas (definidas como covariables) y los efectos ambientales no climáticos (que incluyeron el sexo, el

tamaño de la camada, la estación experimental y la longitud de la mecha, donde la longitud de la mecha se definió como covariable, y los demás efectos como variables de clase). Los modelos finales incluyeron cuatro variables dependientes (amarillamiento en la zona media de costilla, amarillamiento en zona dorsal del lomo, brillo en la zona media de costilla y brillo en zona dorsal del lomo) y los efectos fijos de sexo, tamaño de la camada, estación experimental, longitud de la mecha, temperatura máxima (media en el periodo), precipitación acumulada y humedad relativa y el animal como efecto genético aleatorio, distribuido como $N(0, G0 A)$, donde $G0$ es una matriz de varianzas genéticas aditivas (co) entre rasgos (muestras estacionales) y A es la matriz de relaciones entre los animales en el archivo genealógico. Los componentes de (co) varianza y los parámetros genéticos se estimaron mediante un análisis tetra-variado, considerando cada muestra estacional de las características de color ($Y-Z$ e Y) en cada tiempo de muestreo para las zonas media de costilla y dorsal del lomo como característica específica. En consecuencia, la expresión de la misma característica en diferentes estaciones se trató como características genéticas diferentes. La estimación de los parámetros se realizó con el software *Thrgibbs1f90* (Miszta et al., 2002) y se resumió a partir de distribuciones a posteriori, utilizando *Postgibbsf90* (Miszta et al., 2002) y la suite *R* (R Development Core Team, 2018). Para garantizar la convergencia, se ejecutaron 4 millones de iteraciones después del descarte del primer millón de muestras, con un muestreo cada 500 iteraciones. En todos los casos, la convergencia se comprobó utilizando el paquete *CODA* para *R*, inspeccionando visualmente la evolución de las cadenas y utilizando la prueba de Geweke.

6.2.5.2. Variación genética y asociación con otras características de la lana

Se determinaron las medias y la desviación estándar de las características de la lana medidas en forma objetiva (PVS, PVL, R%, DM, CVD, %F>30, LM, RM) y las características de la lana evaluadas visualmente (CO, CA, EM, TO, PT, EF).

La selección del modelo estadístico se describió en el punto anterior. Los efectos fijos del rebaño, el sexo, el tamaño de la camada y las variables climáticas (precipitación acumulada, temperatura máxima y humedad relativa) se incluyeron como efectos ambientales. Los efectos aleatorios de los valores genéticos aditivos se incluyeron con la distribución $N(0, G0A)$, donde $G0$ es una matriz de varianzas genéticas aditivas (co) entre características, y A es la matriz de relaciones entre los animales en el pedigrí.

Una de las cuestiones centrales fue la estimación de las correlaciones de las características del color medido objetivamente ($Y-Z$ e Y) con todas las demás características de la lana (PVS, PVL, R%, DM, CVD, %F>30, CO, CA, EM, TO, PT, EF). Para ello, se realizó un análisis genético trivariado. Las dos características objetivas del color de la lana ($Y-Z$ e Y) estuvieron siempre presentes, y las demás características se introdujeron una a una en el análisis.

Se utilizó el programa *Thrgibbs1f90* (Miszta et al., 2002) para estimar los componentes de varianza y covarianza, a partir de los cuales se obtuvieron los parámetros genéticos (heredabilidades, correlaciones genéticas y fenotípicas). Se utilizó una cadena de

1.000.000 de iteraciones, con un descarte de 200.000 muestras y un intervalo de muestreo cada 400 iteraciones.

Para describir los parámetros genéticos, se utilizó el siguiente rango de clasificación de la heredabilidad: baja ($<0,15$), media (0,15-0,40), alta (0,40-0,60) y muy alta ($>0,60$). Para las correlaciones (valor absoluto): muy baja ($<0,20$), baja (0,2-0,4), media (0,4-0,6), alta (0,6-0,8) y muy alta ($>0,8$) (Cardellino and Rovira, 1989).

7. RESULTADOS PRINCIPALES

7.1. Presentación de los trabajos y justificación de la unidad temática

En el desarrollo de la presente Tesis Doctoral en Producción Animal se han conseguido dos publicaciones científicas en revistas arbitradas (Artículos I y II). Asimismo, el Artículo III fue enviado a una revista para su evaluación. En concordancia con los objetivos planteados inicialmente, se buscó un abordaje múltiple de la característica color de la lana, partiendo del conocimiento particular de los efectos a nivel industrial (tinción) de las coloraciones amarillas y luego estudiando en rebaños experimentales los factores ambientales y genéticos involucrados en el color. A continuación, se presentan los principales resultados.

7.2. Resultados del Experimento 1

Para la realización del experimento (**Artículo I**) se cardaron cinco cintas cuyas características de color limpio, diámetro promedio y coeficiente de variación del diámetro se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Promedio y desvío estándar del color de la lana limpia, diámetro promedio y coeficiente de variación del diámetro de las cintas de carda utilizadas en el ensayo.

Cinta de carda	Color (Y-Z)	DM (μm)	CVD (%)
C1	0.74 \pm 0.09	25.81 \pm 0.11	22.4 \pm 0.17
C2	2.50 \pm 0.09	26.72 \pm 0.06	23.5 \pm 0.19
C3	4.77 \pm 0.08	26.25 \pm 0.12	24.9 \pm 0.22
C4	7.79 \pm 0.10	27.21 \pm 0.07	24.9 \pm 0.25
Co	-0.84 \pm 0.06	26.63 \pm 0.05	23.8 \pm 0.13

DM=diámetro promedio; CVD= coeficiente de variación del diámetro; C1= cinta de carda 1; C2=cinta de carda 2; C3=cinta de carda 3; C4=cinta de carda 4; C0=cinta de carda control

Los resultados de los procedimientos de tinción mostraron que las muestras teñidas con Amarillo Erionil A-3G presentaron valores crecientes de la coordenada b^* , que fueron los más altos obtenidos de los tres colorantes utilizados (16,94 a 22,92). En el caso del Azul Erionil AR, se observó un desplazamiento de la coordenada a^* hacia la región verde del diagrama del espacio de color, demostrando un cambio creciente hacia la región amarilla. En las cintas de carda teñidas con Rojo Erionil A-3G, se produjo una disminución de la luminosidad de C1 a C4 mientras que se obtuvo un aumento de la coordenada b^* .

En la Tabla 5 se muestra el efecto del Y-Z de la cinta de carda y del colorante de tinción utilizado sobre las características colorimétricas L^* a^* b^* . Se encontró un efecto

significativo del colorante ($P<0,0001$) sobre todos los parámetros de color, así como un efecto significativo de la cinta de carda ($P<0,0001$) sobre los mismos. A medida que los valores iniciales Y-Z aumentaban de C1 a C4, la coordenada L^* disminuyó y b^* aumentó. La interacción entre los efectos de la cinta de carda y el colorante utilizado también resultó significativa ($P<0,0001$).

Tabla 5. Efecto del Y-Z de la cinta de carda y del colorante de tinción utilizado sobre las características colorimétricas L^* a^* b^*

	L^*	a^*	b^*
Cinta de carda			
C1	77.77±2.79 ^a	1.08±7.12 ^a	9.56±6.19 ^a
C2	75.98±2.47 ^{ab}	1.31±5.68 ^{ab}	11.06±5.21 ^{ab}
C3	75.77±2.63 ^{ab}	1.39±6.67 ^{ab}	13.23±6.98 ^{ab}
C4	75.19±3.01 ^b	1.79±8.14 ^b	14.73±6.88 ^b
Efecto	***	***	***
Colorante			
Amarillo Erionyl A-3G	79.82±0.88 ^a	-0.64±0.49 ^a	19.75±2.76 ^a
Azul Erionyl AR	73.62±0.77 ^b	-5.68±0.84 ^b	4.62±1.51 ^b
Rojo Erionyl A-3G	75.10±1.48 ^c	10.51±1.38 ^c	12.06±2.11 ^c
Efecto	***	***	***
Ci#Co	***	***	***

***= significativo ($P<0,01$); Ci#Co=interacción cinta de carda # colorante; C1=cinta de carda 1; C2=cinta de carda 2; C3=cinta de carda 3; C4=cinta de carda 4; C0=cinta de carda control

El parámetro diferencia total de color (ΔE) permitió resumir los tres componentes vectoriales (L^* , a^* , b^*) en un único valor escalar y fue útil para determinar si el color de una muestra estaba dentro de una tolerancia especificada con respecto a un estándar. En la Figura 3 se presenta la diferencia de color total de cada cinta de carda teñida con los diferentes colorantes. En el presente ensayo, los valores de ΔE obtenidos para los tres colorantes fueron superiores a 1,0 para todas las cintas de carda. Se pudo observar claramente que los valores de ΔE de las muestras aumentaron con el incremento de los valores iniciales de Y-Z de las diferentes cintas de carda (de C1 a C4), cuanto más amarilla era la muestra, mayor fue el ΔE que presentó. Considerando la cinta de carda 1 (C1), el mayor ΔE se registró con el colorante Amarillo Erionyl A-3G. Además, se obtuvieron efectos significativos del colorante y de la cinta de carda sobre el ΔE y una interacción significativa entre el colorante y la cinta de carda ($P<0,0001$).

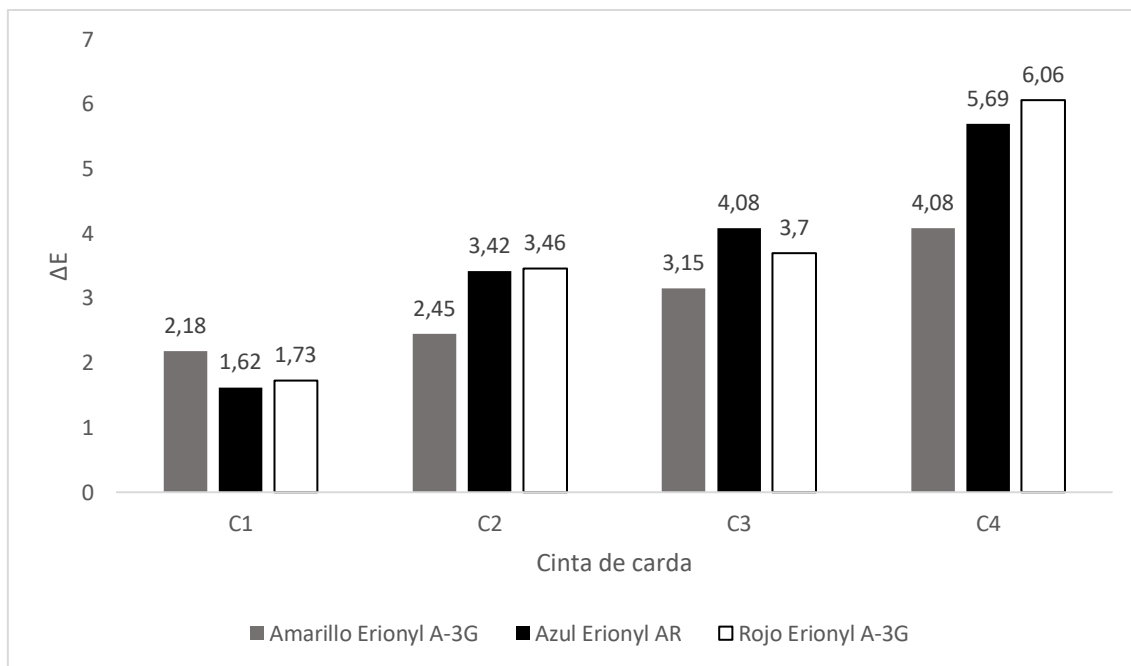


Figura 3. Diferencia total de color (ΔE) de las 4 cintas de carda teñidas con los distintos colorantes.

Por otra parte, en la tinción de la cinta de carda 1 (C1) con los diferentes colorantes, el color adquirido luego de la tinción estuvo fuera de la tolerancia especificada con respecto al estándar. Esto significa que ya con valores de Y-Z de 0.74 unidades como poseía esta cinta de carda C1, visualmente se pudieron detectar diferencias en la coloración adquirida luego de la tinción.

7.3. Resultados del Experimento 2

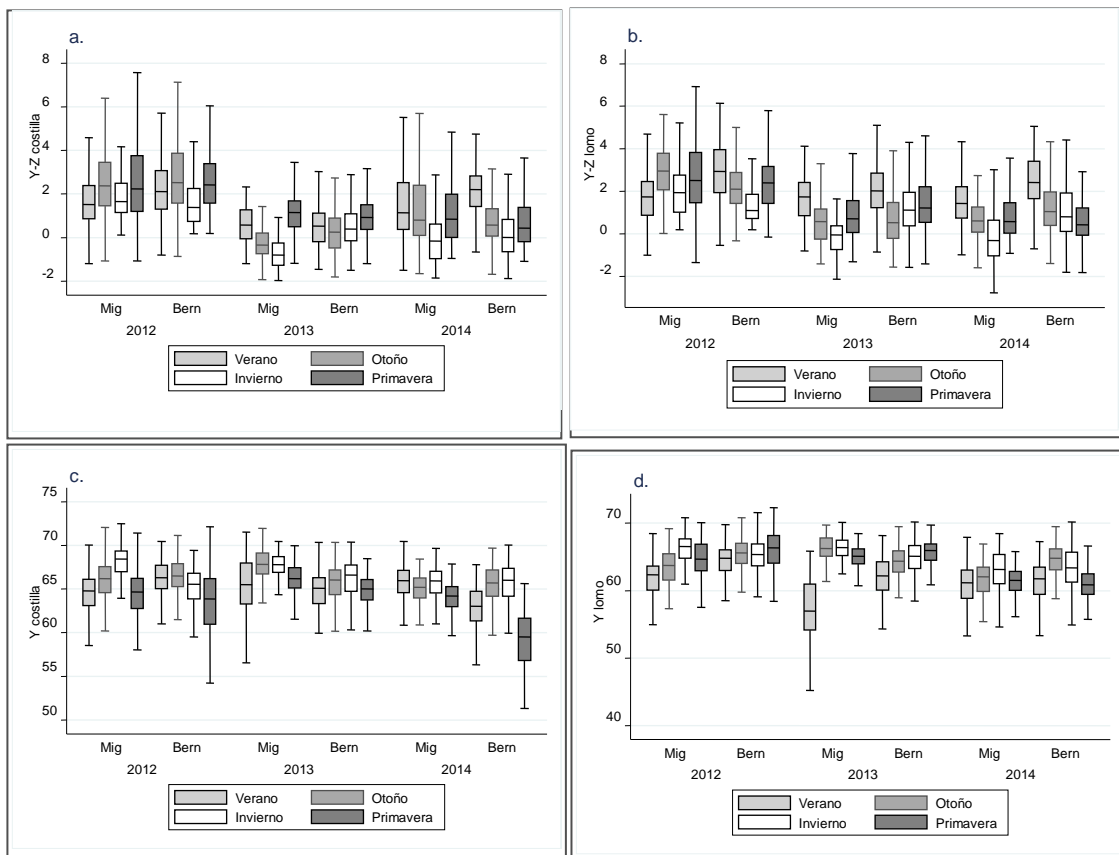
7.3.1. Factores ambientales

Los resultados obtenidos muestran que en los muestreos de lana correspondientes a la esquila de vellón de un año (longitud de mecha completa, primavera), el Y-Z registrado estuvo entre -1,56 y 11,32, lo que indicó una gran variabilidad entre los animales (Tabla 6). Esta amplia variabilidad se registró también en los restantes muestreos, en los cuales, el 25% de ellos presentaron valores de Y-Z inferiores a 1,44 unidades, mientras que el 75% de ellos mostraron valores inferiores a 2,54 unidades de Y-Z. El brillo de la lana registró un valor medio de 63,58 unidades en el último muestreo, mientras que el 50% de los valores fueron inferiores a 64,25 unidades (**Artículo II**).

Tabla 6. Promedio, desvío estándar, mínimo y máximo del amarillamiento de la lana (Y-Z) y del brillo (Y) medidos en zona media de costilla en cuatro muestreos anuales realizados en ambas estaciones experimentales.

	Muestreos de lana			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Y-Z				
Promedio	1.64	1.52	0.87	1.77
d.s.	1.59	2.02	1.57	1.77
Min	-1.50	-1.92	-1.96	-1.56
Max	16.05	10.66	10.12	11.32
Y				
Promedio	64.83	65.96	66.10	63.58
d.s.	2.96	2.33	2.79	3.63
Min	45.08	54.69	32.99	48.17
Max	72.46	73.47	72.48	72.12
<i>n</i>	1230	1225	1183	1193

Los valores más bajos de color limpio se obtuvieron en las muestras recogidas durante el invierno. Además, los valores de color más bajos de los tres años evaluados se registraron el segundo año en ambas estaciones experimentales (Figura 4).



Mig= Estación experimental Migues; Bern= Estación experimental Bernardo Rosengurt

Figura 4. Gráficos de caja del amarillamiento (Y-Z) en zona de costilla (a) y en el lomo (b), y del brillo (Y) en zona de costilla (c) y en lomo (d); variación dentro y entre años y estaciones experimentales

La prueba T mostró que el amarillamiento de la lana en la zona del lomo fue significativamente mayor que el obtenido en la zona media de costilla ($P < 0,001$) en el muestreo de verano ($2,19 \pm 1,35$ frente a $1,64 \pm 1,59$, respectivamente) y en el de invierno ($1,08 \pm 1,42$ frente a $0,87 \pm 1,57$, respectivamente). Además, se encontraron diferencias significativas de brillo entre ambas zonas en todos los muestreos ($P < 0,001$), presentando valores más altos en la zona de costilla que en la zona del lomo, excepto en el último muestreo.

Según los coeficientes de regresión lineal de las variables meteorológicas sobre las características de color limpio (amarillamiento y brillo), la $T_{máx}$ presentó una asociación significativa y desfavorable con el amarillamiento de las zonas de costilla y del lomo ($P < 0,01$). La variable R mostró asociaciones desfavorables con el amarillamiento en los muestreos de verano y otoño, mientras que los coeficientes fueron negativos y significativos en los muestreos de invierno y primavera. Se encontraron asociaciones desfavorables con la humedad relativa en verano e invierno, mientras que fueron favorables en otoño y primavera en ambos sitios de muestreo. En cuanto a la

luminosidad, se obtuvieron asociaciones desfavorables con la $T_{\text{máx}}$ para costilla y lomo, excepto en el muestreo de primavera de zona de costilla, donde se obtuvo una asociación favorable y significativa. En cuanto a R , se registraron asociaciones desfavorables con la luminosidad en todos los muestreos, excepto en el de verano, en zona de costilla y en lomo. Considerando la HR, la mayoría de los coeficientes obtenidos fueron negativos en ambas zonas de muestreo.

7.3.2. Factores genéticos

7.3.2.1. Parámetros genéticos del color limpio en los muestreos estacionales de lana

Otro de los objetivos planteados fue el de conocer si el Y-Z era genéticamente la misma característica a lo largo del tiempo (**Artículo II**). Las estimaciones de heredabilidad del amarillamiento según las cuatro fechas de muestreo de zona de costilla y de lomo fueron de magnitud intermedia (Tabla 7). Las correlaciones genéticas y residuales entre muestreos fueron positivas y de bajas a moderadas para el Y-Z de costilla, mientras que para el Y-Z de lomo se obtuvieron correlaciones genéticas positivas y de muy bajas a moderadas y correlaciones residuales positivas y bajas. Las estimaciones de heredabilidad del brillo fueron de magnitud media en ambos sitios de muestreo. Las correlaciones genéticas entre muestreos en la luminosidad de zona de costilla fueron positivas y de magnitud moderada, excepto en el muestreo de primavera, mientras que las correlaciones residuales fueron pequeñas.

Table 6. Medias posteriores y desvíos estándar de los parámetros genéticos para Y-Z e Y de las zonas de costilla y lomo: heredabilidad en cada muestreo de lana (diagonal, negrita), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y residuales (debajo de la diagonal) entre muestreos.

Estaciones de muestreos de lana				
Y-Z costilla	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Verano	0.24 (0.07)	0.33 (0.20)	0.25 (0.21)	0.22 (0.20)
Otoño	0.47 (0.08)	0.36 (0.10)	0.52 (0.18)	0.43 (0.17)
Invierno	0.40 (0.08)	0.47 (0.09)	0.37 (0.09)	0.47 (0.16)
Primavera	0.27 (0.07)	0.35 (0.08)	0.42 (0.07)	0.29 (0.07)
Y-Z lomo				
Verano	0.29 (0.09)	0.34 (0.19)	0.18 (0.24)	0.18 (0.23)
Otoño	0.20 (0.08)	0.29 (0.08)	0.47 (0.16)	0.40 (0.18)
Invierno	0.10 (0.08)	0.24 (0.07)	0.28 (0.07)	0.45 (0.17)
Primavera	0.11 (0.09)	0.16 (0.08)	0.20 (0.07)	0.31 (0.09)

Estaciones de muestreos de lana				
Y costilla	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Verano	0.34 (0.15)	0.43 (0.25)	0.52 (0.25)	-0.37 (0.33)
Otoño	0.12 (0.11)	0.25 (0.09)	0.49 (0.23)	-0.23 (0.28)
Invierno	0.00 (0.13)	0.23 (0.07)	0.18 (0.08)	-0.03 (0.33)
Primavera	0.29 (0.17)	0.27 (0.11)	0.23 (0.08)	0.20 (0.09)
Y lomo				
Verano	0.41 (0.13)	0.15 (0.24)	0.05 (0.30)	0.29 (0.28)
Otoño	0.02 (0.11)	0.24 (0.07)	0.69 (0.14)	0.60 (0.17)
Invierno	0.06 (0.11)	0.18 (0.06)	0.16 (0.06)	0.56 (0.18)
Primavera	-0.01 (0.12)	0.07 (0.06)	0.16 (0.05)	0.18 (0.06)

7.3.2.2. Heredabilidad de las características de la lana

Las heredabilidades de Y-Z e Y fueron de magnitud media y baja (0,22 y 0,10, respectivamente) (**Artículo III**). El PVL, R%, CVD, LM y RM presentaron heredabilidades de magnitud media. Por el contrario, el PVS y el DM presentaron estimaciones de heredabilidad altas, y el %F>30 μ fue muy elevado. Se obtuvieron estimaciones de heredabilidad de magnitud media para características visuales de la lana (0,19-0,35), excepto para CO y EF, que presentaron una magnitud baja (0,13 y 0,14, respectivamente).

7.3.2.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas de Y-Z e Y con características de producción y calidad de la lana medidas objetivamente

La correlación genética de Y-Z e Y encontrada no fue diferente de cero ($-0,31 \pm 0,22$), mientras que la correlación fenotípica entre ambos rasgos fue significativa, pero de muy baja magnitud ($0,15 \pm 0,03$) (**Artículo III**).

Las correlaciones genéticas de Y-Z e Y con los rasgos de producción y calidad de la lana medidos objetivamente se presentan en la Tabla 7. Las correlaciones genéticas de Y-Z con PVS, PVL y LM fueron significativas, positivas y de magnitud intermedia (0,43, 0,56 y 0,44, respectivamente), mientras que la asociación con R% fue significativa, positiva y alta (0,61). La correlación genética entre Y-Z y DM fue de una magnitud baja no significativa ($0,25 \pm 0,17$); las correlaciones con RM, CVD y % F>30 μ m fueron muy bajas y no significativamente diferentes de cero. La correlación genética de Y con LM fue significativa y de magnitud media (0,56). En cambio, las correlaciones con R%, PVS, PVL, DM, CVD, % F>30 μ m y RM fueron de muy baja a baja magnitud (0,01 a -0,30) y no fueron significativamente diferentes de cero.

Las correlaciones fenotípicas de Y-Z e Y con los rasgos de producción y calidad de la lana fueron significativamente diferentes de cero, pero de muy baja magnitud ($-0,17$ - $0,19$), excepto la asociación de Y-Z con PVL, que fue de baja magnitud (0,20).

Table 7. Promedios posteriores (desvíos estándar posteriores) de las correlaciones genéticas (r_g) y fenotípicas (r_p) del Y-Z e Y con características de producción y calidad de lana medidas objetivamente.

	Y-Z		Y	
	r_g	r_p	r_g	r_p
PVS	0.43 (0.15)	0.16 (0.03)	0.05 (0.22)	0.12 (0.03)
PVL	0.56 (0.14)	0.20 (0.03)	0.01 (0.22)	0.07 (0.03)
R%	0.61 (0.15)	0.15 (0.03)	-0.30 (0.22)	-0.17 (0.03)
DM	0.25 (0.17)	0.09 (0.03)	0.08 (0.23)	0.08 (0.03)
CVD	-0.09 (0.20)	0.03 (0.08)	0.07 (0.24)	-0.06 (0.03)
%F>30 μ m	0.19 (0.17)	0.07 (0.03)	0.06 (0.22)	0.06 (0.03)
LM	0.44 (0.17)	0.01 (0.03)	0.56 (0.17)	0.13 (0.03)
RM	-0.15 (0.21)	-0.10 (0.03)	0.05 (0.25)	0.08 (0.03)

Y-Z= amarillamiento; Y= brillo; PVS= peso de vellón sucio; PVL= peso de vellón limpio; DM= diámetro promedio de fibra; CVD= coeficiente de variación del diámetro; % F>30 μ m= porcentaje de fibras mayores a 30 μ m; LM= largo de mecha; RM= resistencia de mecha; las correlaciones significativas diferentes de 0, se muestran en negrita.

7.3.2.4. Correlaciones genéticas y fenotípicas de Y-Z e Y con las características de la lana evaluadas visualmente

Las correlaciones genéticas y fenotípicas de Y-Z e Y con las características de la lana evaluadas visualmente se muestran en la Tabla 8 (**Artículo III**). La correlación genética más fuerte encontrada fue la existente entre Y-Z y CO, que fue significativa, positiva y de gran magnitud (0,70). Por otro lado, las correlaciones genéticas de Y-Z con las otras características visuales de la lana no fueron significativamente diferentes de cero (-0,01-0,32).

Y mostró una correlación genética positiva, de baja magnitud y significativamente diferente de cero con CA (0,39). Sin embargo, las asociaciones con las otras características visuales de la lana fueron bajas a muy bajas y no fueron significativamente diferentes de cero.

Las correlaciones fenotípicas de Y-Z e Y con las características visuales de la lana fueron de muy baja magnitud (-0,11- 0,19), excepto la asociación de Y-Z y CO que fue baja (0,30).

Table 8. Medias posteriores y desvíos estándar de las correlaciones genéticas (r_g) y fenotípicas (r_p) del Y-Z e Y con características de la lana evaluadas visualmente

	Y-Z		Y	
	r_g	r_p	r_g	r_p
CO	0.70 (0.13)	0.30 (0.03)	-0.03 (0.25)	-0.10 (0.03)
CA	-0.32 (0.20)	0.09 (0.03)	0.39 (0.22)	-0.03 (0.03)
TO	0.02 (0.21)	0.19 (0.03)	0.28 (0.23)	-0.06 (0.03)
EM	0.01 (0.22)	0.19 (0.03)	0.24 (0.24)	-0.06 (0.03)
PT	-0.15(0.20)	0.08 (0.03)	-0.09 (0.25)	-0.11 (0.03)
EF	0.03 (0.24)	0.16 (0.03)	0.18 (0.26)	-0.06 (0.03)

Y-Z= amarillamiento; Y= brillo; CO= color sucio; CA= carácter; TO= toque; EM= estructura de la mecha; PT= penetración de tierra; EF= entrecruzamiento de fibras; las correlaciones significativas diferentes de 0, se muestran en negrita.

7.3.2.5. Valores de cría de los padres para Y-Z e Y

En la Figura 5, se muestran los valores de cría de los padres utilizados en el ensayo para el amarillamiento y el brillo de la zona media de costilla y de lomo, lo que ilustra una gran variabilidad genética (**Artículo II**). El valor genético más alto estimado para el Y-Z en zona de costilla fue de -0,77 unidades (padre bm39), mientras que el valor genético más bajo fue de 1,85 unidades (padre m599). La diferencia de valor de cría entre las estimaciones superiores e inferiores fue de 2,62 unidades Y-Z. Se consideró que un 29% de los carneros podían mejorar el amarillamiento y el brillo (considerando el muestreo de zona media de costilla). El valor genético más alto estimado para el Y-Z de lomo fue

de -0,37 unidades (padre m624), mientras que 11 de los 24 padres se consideraron capaces de mejorar amarillamiento y el brillo en relación con el muestreo de esta zona.

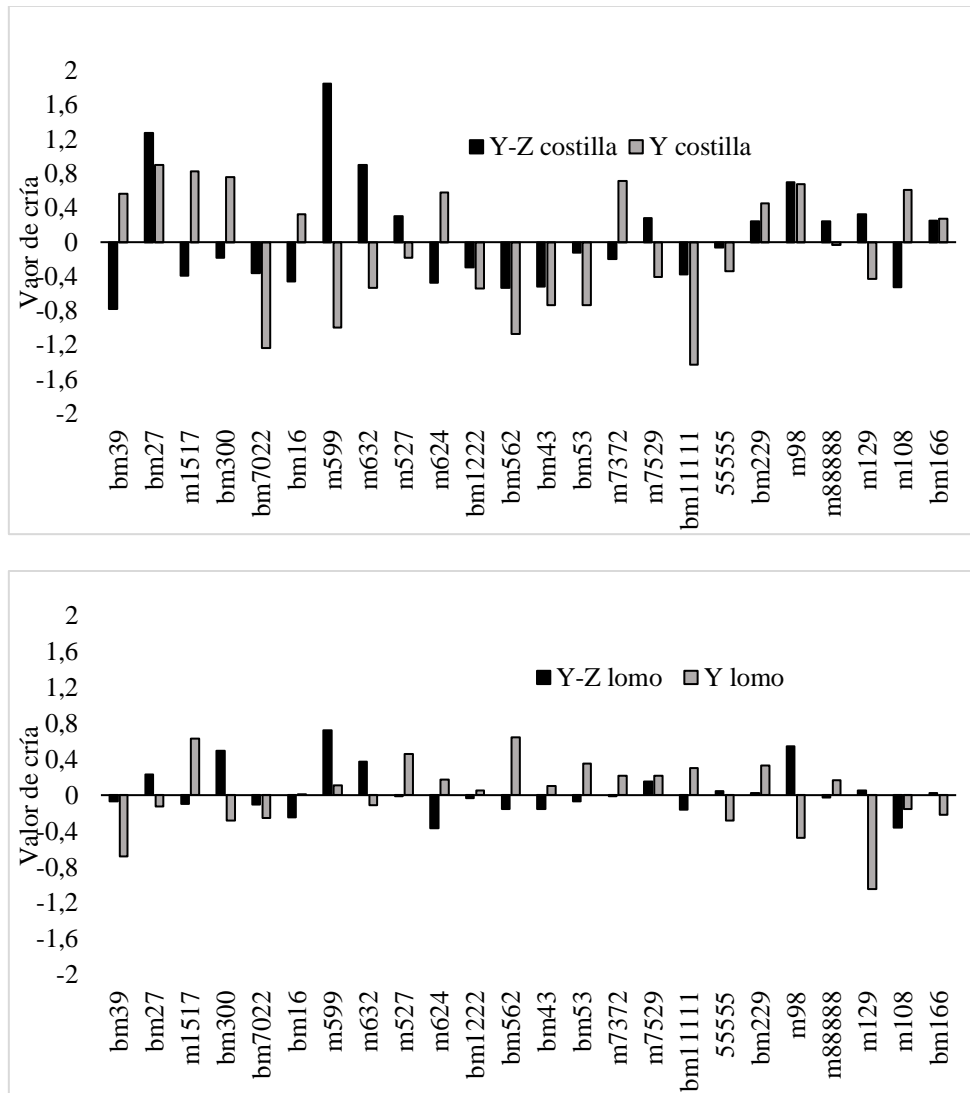


Figura 5. Valor de cría de los carneros para amarillamiento (Y-Z) y brillo (Y) medidos en zona de costilla y lomo.

8. DISCUSIÓN GENERAL

Uruguay es el 4to exportador más importante de tops de lana a nivel mundial en términos de volumen, exportando lanas también en forma sucia o lavada. El acceso a mercados exigentes en cuanto a calidad para lanas medias implica cumplir estándares para varias características de la lana. De acuerdo a sugerencias de los industriales en nuestro país, el color es una característica que debe mejorarse en este tipo de lanas.

El color de la lana limpia indica el potencial de teñido de un lote, por eso se consideró fundamental en primer lugar, conocer cómo afecta el Y-Z el teñido con colores pastel y específicamente cual es el punto de corte en lana Corriedale a partir del cual se pueden empezar a percibir diferencias en el color adquirido luego de la tinción. Una vez cuantificadas las consecuencias sobre la tinción de lanas con coloraciones que se apartan del color blanco, y en procura de poder abordar la mejora de esta característica, se planteó como objetivos conocer cuáles eran los factores ambientales que afectan el color de la lana, la variabilidad genética del color y las correlaciones genéticas con otras características del vellón. En la literatura internacional o nacional no existen investigaciones sobre el comportamiento a la tinción con colores pastel de lanas Corriedale. Tampoco existen trabajos que asocien los cambios estacionales en el color de la lana limpia con factores meteorológicos ni que consideren la relación entre la localización de coloraciones amarillas en el vellón con los mismos. Por otra parte, solo una investigación estima parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) del Y-Z en la literatura internacional para la raza Corriedale (Benavides and Maher, 2000, 2002). Por tanto, a pesar de las limitaciones en la cantidad de datos y el corto periodo de tiempo evaluado, se considera que los resultados obtenidos fueron relevantes.

En el primer experimento planteado (**Artículo I**), se pudo verificar que el color adquirido luego de la tinción de la lana con colorantes pastel se vio afectado por el Y-Z inicial de la misma. A medida que los valores de Y-Z de las cintas de carda aumentaban, la diferencia total de color determinada tras el teñido fue mayor. Además, al aumentar el Y-Z de C1 a C4, se produjo una disminución de L^* , resultado que concordó con los resultados reportados por Andrews et al. (1988). Por otra parte, las coordenadas b^* aumentaron, volviéndose más amarillas, lo que se explicaría por el Y-Z de las cintas de carda, que también aumentó de C1 a C4. La posición del punto de corte en la escala Y-Z a partir del cual ya se encontró un valor de diferencia total de color por encima de la tolerancia fue 0,74 en estas muestras de lana Corriedale. Por tanto, a partir de este valor, la evaluación visual subjetiva pudo detectar diferencias de color e incluso, estas diferencias variaron con el colorante pastel utilizado. En segundo lugar, la interacción entre los efectos del Y-Z de la lana cardada y el del colorante utilizado resultó significativa, lo que implicaría que el efecto del color base de la lana cardada sobre el color adquirido luego de la tinción no es el mismo con todos los colorantes utilizados. En resumen, se comprobó que el Y-Z afecta el color adquirido luego de la tinción con colorantes pastel en lana Corriedale de diámetros medios, ya desde valores inferiores a 1 unidad de Y-Z. Estos resultados confirman que lanas con estos valores de Y-Z no podrían ser utilizadas para la tinción con estas tonalidades (Duffield and Lewis, 1985),

sin un blanqueamiento previo. Si bien hasta el momento, para la industria, el blanqueamiento de la lana con químicos es una opción, sería recomendable la búsqueda de posibles estrategias de mejora de esta característica que disminuyan sus valores, ya que este proceso además de un costo extra implica la posibilidad de sensibilizar a la lana para que se vuelva amarilla al exponerla a la luz solar en los tejidos (Millington, 2009).

Una vez cuantificado el impacto del Y-Z en el proceso industrial de tinción de la lana, se planteó como objetivo estimar el efecto de las variables climáticas sobre el amarillamiento y el brillo de la lana (**Artículo II**). El Y-Z de la lana registrado en la zona del lomo fue significativamente mayor al de costilla, mientras que el brillo fue mayor en la zona de costilla. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Ross and Meikle (1985) en ovejas Romney (2,3 y 3,5 unidades de Y-Z, en la zona media de costilla y en la zona del lomo, respectivamente; y 60,7 y 57,4 unidades de Y para brillo). Incluso Summer et al. (2003) sugirieron que la exposición prolongada de la lana del lomo a la luz solar podría influir en la vía bioquímica asociada al amarillamiento de la lana sucia. Por otra parte, el hecho de que los veranos lluviosos se asocien a vellones amarillos (Henderson, 1968; Reid, 1998) fue corroborado en nuestros resultados. De los factores meteorológicos evaluados, $T_{\text{máx}}$ presentó una asociación significativa y positiva con el Y-Z, lo que podría estar vinculado con el posible efecto de la alta temperatura sobre la secreción de sudor o suint de las glándulas sudoríparas de la piel. Johnson (1973) informó de una descarga más frecuente de sudor cuando las ovejas galesas de montaña estaban expuestas a una temperatura ambiente que superaba los 30°C, aunque su estudio no estaba diseñado para comprobar los efectos de la variación estacional anual. Sería beneficioso realizar un estudio más profundo sobre cómo es la secreción de sudor en ambas zonas del vellón durante el verano, en animales susceptibles y resistentes al amarillamiento.

En nuestro estudio, las precipitaciones y la humedad relativa mostraron asociaciones positivas con el Y-Z en verano, y las precipitaciones también en el muestreo de otoño. Si comparamos los valores medios de amarillamiento registrados en el muestreo de verano en los tres años evaluados, el registro medio más bajo se produjo en el segundo año, coincidiendo con la menor precipitación. El hecho de que estas asociaciones positivas se registraran en los períodos de muestreo de verano podría explicarse probablemente por una interacción entre la alta temperatura y precipitaciones; sin embargo, esto no pudo determinarse en este experimento debido a la escasa cantidad de datos disponibles. En referencia a la luminosidad, la humedad relativa y las precipitaciones se asociaron negativamente, lo que implicaría una disminución de la luminosidad de la lana a medida que ambos parámetros aumentan. No se encontró información en la literatura sobre esta asociación. De hecho, por lo que sabemos, este es el primer estudio que muestra los efectos de la estación y el año sobre el amarillamiento y el brillo de la lana. Son necesarias más investigaciones para aclarar los mecanismos que afectan a estos parámetros, con especial atención a sus interacciones. Identificar la mejor estación para medir estas características de la lana es el principal interés para la evaluación y manejo de los animales.

Una pregunta que surge al plantear alternativas de mejora del color de la lana es si la selección a favor de lanas más blancas podría ser una opción. Nuestra investigación

muestra claramente que el Y-Z es razonablemente heredable (0,22) y debería responder a la selección (**Artículo III**). Esta estimación moderada fue consistente con la reportada en un rebaño Corriedale en Nueva Zelanda (0,27) por Benavides and Maher (2003). Para el brillo, la heredabilidad estimada (0,10) fue inferior a la informada en animales Merino de un año de edad (0,19) por Mortimer et al. (2017). No hay datos similares reportados en Corriedale en la literatura.

Por otra parte, se determinó si el color de la lana limpia se expresaba de la misma manera a lo largo del tiempo, estimándose la heredabilidad estacional del color, investigación que no se había realizado previamente (**Artículo 2**). Las estimaciones de heredabilidad del amarillamiento en todos los muestreos de costilla y lomo fueron moderadas y no hubo mucha diferencia entre la heredabilidad del amarillamiento si se midió en costilla o en el lomo. Las correlaciones genéticas de los tres primeros muestreos con el último fueron de bajas a moderadas y también las mediciones en las distintas fechas de muestreo fueron más disímiles cuando estaban más separadas. En consecuencia, el color de la lana en las diferentes estaciones del año parece estar regido por genes diferentes, y estos muestreos antes de la esquila no parecen ser buenos predictores del color de la lana en la cosecha. Por lo tanto, no parece razonable medir el color en otros momentos antes de la primera esquila del vellón para una selección más temprana. Debido al reducido número de animales, la incertidumbre en estos parámetros es importante, por lo que deben considerarse como estimaciones iniciales. Deberían realizarse estudios para aclarar este aspecto.

Por el contrario, las estimaciones de heredabilidad del brillo parecían disminuir desde el primer al último muestreo en la zona dorsal del lomo y en la de costilla, y eran muy variables entre las fechas de muestreo. Las estimaciones de heredabilidad del brillo fueron de mediana magnitud en el último muestreo y están en concordancia con Hatcher et al. (2010), quienes estimaron un valor de heredabilidad de 0,20 para animales Merino de un año. Además, los valores de cría obtenidos en este experimento para el amarillamiento y el brillo indicaron la posibilidad de identificar animales genéticamente superiores para estas características, para su uso en planes de selección.

El conocimiento de los parámetros genéticos que asocian el color de la lana con las características del vellón es esencial para diseñar un plan de mejora genética. Dada la escasez de información, este estudio en condiciones controladas en dos rebaños experimentales proporciona una buena visión de las relaciones entre el color de la lana y las características del vellón.

Hasta donde sabemos, no se han informado previamente parámetros genéticos en la raza Corriedale para las características visuales de la lana, excepto para el color de la lana sucia. Esta característica mostró un valor de heredabilidad bajo (0,13), inferior al obtenido en esta raza en Nueva Zelanda (0,44) por Benavides and Maher (2002) y a la reportada en Merinos por varios autores (0,33- 0,63; Mortimer et al., 2009; Smith and Purvis, 2009; Hebart and Brien, 2009; James et al., 1990). Este amplio rango de estimaciones podría deberse probablemente a las diferentes condiciones ambientales que actúan sobre cada majada. Se ha demostrado que los factores meteorológicos, especialmente las precipitaciones, la temperatura y la humedad, influyen en el color de

la lana (**Artículo 2**). Nuestros resultados mostraron, además, estimaciones de heredabilidad de magnitud media para CA, TO, EM y PT (0,19- 0,35), mientras que de baja magnitud para CL (0,14). No se conocen estimaciones previas para la raza Corriedale.

El Y-Z presentó una correlación genética media y desfavorable con el peso del vellón (0,43 y 0,56, para PVS y PVL, respectivamente), lo que sugiere que la selección genética para aumentar el peso del vellón daría lugar a un mayor valor de Y-Z y a un peor color. Un resultado similar fue informado en esta raza (0,44) por Benavides and Maher (2002) para PVS, aunque la estimación para PVL fue mayor (0,91). Por el contrario, asociaciones genéticas más bajas fueron informadas en ovejas Merino (0,27 y -0,09, para PVS y PVL, respectivamente) por Raadsma and Wilkinson (1990). Por tanto, para evitar el deterioro del Y-Z, sería necesario incluirlo explícitamente en el programa de selección.

Considerando el rendimiento al lavado, su correlación genética positiva con Y-Z (0,61± 0,15) fue mayor pero no significativamente diferente de la reportada por Benavides and Maher (2000) para esta raza (0,36± 0,25) ya que la incertidumbre en ambas estimaciones fue grande. Este resultado sugiere que, si las ovejas se seleccionan para obtener un mayor rendimiento al lavado, los vellones de su progenie probablemente presentarían un mayor valor de Y-Z. Según Hay and Mills (1982), el menor rendimiento de los vellones resistentes al amarillamiento podría deberse a su mayor contenido en cera, que protege las fibras de lana en crecimiento del efecto de las secreciones de las glándulas sudoríparas (Summer and Craven, 2005) o a un menor nivel de sudor (Lipson et al., 1982; Mortimer et al., 2009). Por lo tanto, un estudio más detallado de la asociación de estas características debería ser de interés para aclarar estos resultados.

El Y-Z presentó una correlación genética no diferente de cero con DM (0,25), que fue inferior a la única estimación reportada para esta raza (0,93) por Benavides and Maher (2002). En lana fina Merino, la correlación genética reportada en la literatura fue diversa, aunque positiva, variando entre 0,16 (James et al., 1990) y 0,57 (Hebart and Brien, 2009). En general, dado que el DM es el mayor determinante del precio de un lote de lana a la venta y que, en la raza Corriedale, su rango es amplio (de 25 a 32 μ ; Abella et al., 2010), deberían realizarse más estudios para explicar estos resultados. Además, la asociación genética de Y-Z y DM en la lana media puede ser diferente de la lana más fina o gruesa. Por otra parte, la longitud de la mecha se correlacionó genéticamente con el Y-Z (0,44± 0,17), lo que indica una asociación desfavorable; por tanto, la selección de lanas más largas aumentará el Y-Z. Sin embargo, esta estimación fue inferior a las reportadas en Merino (0,05; Wuliji et al., 2001; Hebart and Brien, 2009).

En resumen, la selección de ovejas basada en el aumento de PVS, R% o LM debería ser perjudicial para la Y-Z de su progenie. Nuestros resultados coinciden con el único reportado en la raza Corriedale; deberían realizarse más estudios para confirmar estos resultados. Aunque la asociación genética con el DM fue favorable (dirección económicamente deseable), no fue significativa y fue inferior a la única estimación comunicada para esta raza.

En cuanto a la luminosidad, la única correlación genética significativa encontrada en el presente estudio fue la existente con el LM, que fue de magnitud media (0,56). Cabe destacar que no existen estimaciones de correlaciones genéticas para el brillo en la literatura, excepto la reportada en Merino ultrafino por Wuliji et al. (2001). Estos autores informaron de correlaciones genéticas muy bajas a bajas con DM, PVL y LM (0,13-0,21), mientras que reportaron una estimación de alta magnitud para la asociación con RM (0,63).

En condiciones de producción extensiva, como en Uruguay, la medición objetiva del color puede tener limitaciones. Por lo tanto, la selección indirecta vía color sucio es un enfoque alternativo a utilizar para mejorar el color. El Y-Z presentó una correlación genética favorable y de gran magnitud con el CO (0,70), que fue superior a la estimación reportada en Corriedale (0,40) por Benavides and Maher (2002). Las correlaciones genéticas descritas en la literatura fueron diversas en la raza Merino, desde valores más bajos (0,13 y 0,18 en ovejas de un año y adultas, respectivamente; Smith and Purvis, 2009) hasta estimaciones más altas (0,87; James et al., 1990). Es bien sabido que la selección indirecta es más eficaz que la directa si la correlación entre los valores de cría del atributo deseado X y los valores fenotípicos del rasgo seleccionado Y (r_{Ah_y}), es mayor que la precisión de la selección directa (h_x) (Falconer y Mackay, 1996). Dado que $r_{Ah_y} = 0,25$ no es mayor que $h_x = 0,47$, la selección indirecta de GWC para mejorar Y-Z no debería ser más eficaz que la selección directa de Y-Z. Sin embargo, la selección indirecta puede ser un enfoque alternativo cuando la selección directa es demasiado cara o difícil de medir.

Considerando el CA, se obtuvo una correlación genética significativa con el Y-Z (-0,32). Esta asociación desfavorable indica que la selección para un mejor CA aumentaría el amarillamiento (peor color); no hay datos disponibles en la literatura que describan estas asociaciones genéticas en la raza Corriedale. Las otras características visuales de la lana (TO, EM, PT y EF) presentaron correlaciones genéticas no significativas y de muy baja magnitud con el Y-Z. Considerando el brillo, no se reportó en la literatura ninguna estimación de las correlaciones genéticas con las características visuales de la lana para Corriedale. En el presente estudio, sólo se estimó una asociación significativa, aunque desfavorable con el CA (0,39).

Las correlaciones fenotípicas muy bajas entre Y-Z y las características de producción y calidad de la lana medidas objetivamente, fueron menores que las genéticas y no mostraron asociaciones visibles en el momento de la esquila que ayuden a tomar decisiones de selección fenotípica en la dirección correcta. Las asociaciones fenotípicas con DM (0,09) y CVD (0,03) obtenidas fueron similares a las reportadas por James et al. (1990) en Merinos. Considerando el brillo, las correlaciones fenotípicas con las características de la lana medidas objetivamente fueron de muy baja magnitud, de acuerdo con las estimaciones reportadas por Wuliji et al. (0,04- 0,13; 2001).

Las correlaciones fenotípicas entre Y-Z y las características visuales de la lana fueron de baja a muy baja magnitud, aunque significativas, lo que concuerda con las estimaciones reportadas en Merino por Mortimer et al. (2009) y Hebart and Brien (2009).

En conclusión, la alta correlación genética obtenida en este experimento entre Y-Z y CO subraya el potencial de mejora del grado de amarillamiento de la lana a través de la selección indirecta, a pesar de la baja heredabilidad del CO. Esta asociación positiva coincidió con la reportada en esta raza. Además, puso de manifiesto que el CO es una característica útil, rápida y fácil de evaluar y que está al alcance del productor.

9. CONCLUSIONES GENERALES

- El color adquirido luego de la tinción de la lana con colorantes pastel, se ve afectado por el Y-Z inicial de la lana. A medida que aumentan los valores de Y-Z de las cintas de carda, la diferencia total de color determinada tras el teñido fue mayor. Esta diferencia se detectó incluso en lanas con valores de Y-Z inferiores a 1,0 y se basó principalmente en variaciones en los parámetros b^* y L^* . A partir de este valor, en el teñido se vería afectado el color de la lana adquirido luego de este proceso, variando de acuerdo al colorante pastel utilizado. Estos resultados confirman que lanas con estos valores de Y-Z no podrían ser utilizadas para la tinción con estas tonalidades. Además, se ratifica las sugerencias de los industriales de nuestro país sobre la necesidad de producir lanas más blancas.
- El presente estudio ha demostrado los efectos de los factores meteorológicos sobre el color de la lana lavada. De los parámetros meteorológicos considerados, $T_{\text{máx}}$ presentó una asociación significativa y positiva con el Y-Z, mientras que las precipitaciones y la humedad relativa mostraron asociaciones positivas con el Y-Z en verano, y las precipitaciones también en el muestreo de otoño. Deberían realizarse más investigaciones para estudiar las posibles interacciones entre las variables climáticas. Esto podría ser una herramienta que permitiera elegir el momento óptimo para realizar la esquila de un vellón con mejor color.
- La estimación de la heredabilidad del amarillamiento y el brillo y las asociaciones genéticas entre los muestreos estacionales sugieren que probablemente no sean la misma característica a lo largo del tiempo. Se debería seguir investigando para estudiar las posibles interacciones entre las variables climáticas, así como la variación estacional de ambas variables del color.
- En nuestro estudio se demostró que el Y-Z es razonablemente heredable, por lo que debería utilizarse para mejorar el color de lana lavada en Corriedale siempre que sea posible. Sin embargo, en condiciones de producción extensiva, como en Uruguay, la medición objetiva del color puede tener limitaciones. Por lo tanto, la selección indirecta vía color sucio es un enfoque alternativo a utilizar para mejorar el color.
- El Y-Z se correlacionó en forma desfavorable con el PVS y PVL, unas de las principales características utilizadas como criterios de selección para razas laneras. Por tanto, para evitar el deterioro del Y-Z, sería necesario incluirlo explícitamente en el programa de selección. Además, se encontró una correlación genética no diferente de cero entre MFD e Y-Z, por lo que se sugiere que, dado los limitados datos disponibles, sería conveniente realizar más investigaciones para aclarar este aspecto dada la importancia de esta característica.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abella I. (2010). Uruguay, productor de lanas de calidad. XV Congreso Latinoamericano de Buiatría, XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría, 3-5 junio, Paysandú, Uruguay, pp. 185-188.
2. Abella I, Cardellino RC, Mueller J, Cardellino RA, Benítez D, Lira R. (2010). South American Sheep and Wool Industries. En 'International Sheep and Wool Handbook'. Ed. D. Cottle, Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom, pp. 85-94.
3. Abella I, Piovani C. (2021). Acciones para reducir la contaminación de lanas con pinturas. Revista Ovinos SUL 184: 4- 6.
4. Abella I, Preve F. (2008). Qué tan blanca es la lana uruguaya. Lana Noticias 149: 32-35.
5. Abella I, Preve F. (2010). ¿Qué es el fleece rot?. Lana Noticias 156: 18-20.
6. Adalsteinsson S. (1970). Colour inheritance in Icelandic sheep and relation between colour, fertility, and fertilization. Journal of Agricultural Research in Iceland 2: 3-135.
7. Andrews R, Hawker H, Littlejohn R. (1988). Some aspects of the colour measurement of New Zealand wool, with emphasis on measurement by liquid scintillation spectrometry. New Zeal J Agr Res 31: 233-241.
8. Aitken FJ, Cottle DJ, Reid TC, and Wilkinson BR. (1994). Mineral and amino acid composition of wool from New Zealand Merino sheep differing in susceptibility to yellowing. Aust. J. Agric Res. 45 (2): 391-401.
9. ASTM D2244-11 (2011). Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM International, West Conshocken, PA, American Society for Testing and Materials. Disponible en: <http://www.astm.org> (verificado 11 Setiembre, 2020).
10. AWEX (2021). AWEX Report. Market information, Australian Wool Exchange. Disponible en: <https://www.awex.com.au/market-information/awex-reports/> (verificado 10 Setiembre, 2021).
11. AWI (2019). Visual sheep scores-Researcher Version. Sydney, Australia: AWI Ltd & MLA Ltd. Disponible en: <https://www.wool.com/globalassets/wool/sheep/welfare/breech-flystrike/breeding-for-breech-strike-resistance/visual-sheep-scores-producer-version-2019.pdf> (verificado 10 Setiembre, 2021).
12. Baxter P, Wear J. (2021). A Profile of New Zealand Crossbred Wool Clip in Both Greasy and Scoured Forms in the 2017-18, 2018-19, and 2019-20 Seasons. J. Nat. Fibers , DOI: 10.1080/15440478.2021.1885001.
13. Bell PJM, Ainsworth WD. (1984). The benefits of additional measurement to topmakers and woolcombers. Seminar on Additional Measurements for Wool Inchinomiya, Japan.
14. Belschner H. (1937). Studies on the sheep blowfly problem. 2. Observations on fleece rot and body strike in sheep, particularly in regard to their incidence, type of sheep susceptible and economic importance. Dept Agric NSW Science Bull 54: 61- 95.

15. Benavides M, Maher P, Young M, Beatson P, Reid T. (1998). Quantitative genetics studies on wool yellowing in Corriedale sheep. I- Wool yellowing susceptibility and wool production traits: genetic parameter estimates. *Aust. J. Agric. Res.* 49 (8): 1195-1200.
16. Benavides, M.V., Maher, A.P. (2000). Quantitative genetic studies on wool yellowing in Corriedale sheep. II. Clean wool colour and wool production traits: genetic parameter estimates and economic returns. *Aust. J. Agric Res.* 51 (2), 191-196. <https://doi.org/10.1071/AR98065>
17. Benavides M, Maher A. (2002). Indirect selection criteria against clean wool colour in Corriedale sheep and their effects on wool production traits. *Genet. Mol. Biol.* 25: 139-145.
18. Benavides M, Maher A. (2003). Genetic parameters of wool colour and skin traits in Corriedale sheep. *Genet. Mol. Biol.* 26: 267- 274.
19. Benavides M, Young M, Beatson P, Maher A, Reid T. (1995). Wool yellowing susceptibility: Heritability, genetic and phenotypic correlations with productive traits in Australian Merinos, Corriedale and New Zealand Romney sheep. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 55: 45-49.
20. Bigham M, Meyer H, Smeaton J. (1983). The heritability of loose wool bulk and colour traits and their genetic and phenotypic correlations with other wool traits. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 43: 83-87.
21. Bray AR, Smith MC. (1999). Relationships of fleece and fibre traits with unscourable yellow discolouration in a survey of strong wool sheep flocks. *Proc Nz Soc Anim Prod* 59: 46-48.
22. Brown D. (2006). Genetic aspects of greasy wool colour assessments in Merino sheep. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 54: 1- 10.
23. Burrell D, Merritt G, Watts J, Walker K. (1982). The role of *Pseudomonas aeruginosa* in pathogenesis of fleece rot and the effect of immunization. *Aust. Vet. J.* 58: 34-35.
24. Capurro G. (1996). Caracterización de la lana producida por la raza Corriedale en Uruguay. *Lana Noticias* 116, 22-26.
25. Cardellino R, Richero R, Trifoglio JL. (2021). Sostenibilidad en la Producción y Consumo de fibras textiles. Disponible en: http://www.camaramercantil.com.uy/uploads/cms_news_docs/FIBRAS%20TEXTILES.pdf (verificado 10 Setiembre, 2021).
26. Cardellino, R, Rovira, J. (1987). Heredabilidad. En: *Mejoramiento genético animal*, Eds. Cardellino, R., Rovira J., Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, pp. 111–151.
27. Cegarra J, Puente P, Valldeperas J. (1981). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias.* Ed. Cátedra de Tintorería- Universidad Politécnica de Barcelona, pp. 751.
28. Clark M J, Whiteley K J. (1977). Some observations on the colour of Australian wool. *Wool Tech. Sheep Breed.* 25: 5 -9.
29. Cottle DJ. (1996) Selection programs for fleece rot resistance in Merino sheep. *Aust. J. Agric Res.* 47: 1213-1233.

30. Cottle DJ. (2010a). World sheep and wool production. En: International Sheep and Wool Handbook, Ed. DJ Cottle, Nottingham University Press, Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom, pp. 581-618.
31. Cottle DJ. (2010b). Wool Preparation, Testing and Marketing. En: International Sheep and Wool Handbook, Ed. DJ Cottle, Nottingham University Press, Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom, pp. 581-618.
32. Cottle DJ, Baxter BP. (2015). Wool metrology research and development to date, *Textile Progress* 47 (3): 163-315.
33. Crook B, Piper L, Mayo O. (1994). Phenotypic associations between fibre diameter variability and greasy wool staple characteristics within Peppin Merino stud flocks. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 42: 304-318.
34. Dixon TJ, Mortimer SI, Norris BJ. (2007). 16S rRNA gene microbial analysis of the skin of fleece rot resistant and susceptible sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 58: 739-747.
35. Duffield P, Lewis D. (1985) The yellowing and bleaching of wool. *Rev. Prog. Color. Relat. Top.* 15: 38-51.
36. Dyer J, Bringans S, Aitken G, Joyce N, Bryson W. (2007). Extraction and characterization of non-scourable chromophores from discoloured fleece wool. *Color. Technol.* 123: 54- 58.
37. Fleet M. (1996). Pigmentation types-understanding the heritability and importance. *Wool Tech. Sheep Breed.* 44: 264-280.
38. Fleet M, Fould R, Mahar T, Turk J. (2008). Relationship between pigmented fibre in raw processed wool when other dark fibre is controlled- a review. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 56: 39-53.
39. Gagliardi R, D'Angelo M; Postiglioni A. (2001). Identificación de mutaciones puntuales en el receptor de la hormona estimulante de melanocitos (MC1-R) en ovinos Corriedale. VII Congreso Nacional de Veterinaria, 3er. Congreso Nacional de Veterinarios Especialistas en Pequeños Animales, 3er. Congreso Iberoamericano de Veterinarios Especializados en Equinos, Montevideo, Uruguay.
40. Geweke, J. (1992). Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculating posterior moments. En: *Bayesian statistics 4*, Eds. Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F.M., Clarendon Press, Oxford, UK, pp. 169- 193.
41. Hatcher S, Hynd PI, Thornberry KJ, Gabb S. (2010). Can we breed Merino sheep with softer, whiter, more photostable wool? *Anim. Prod. Sci.* 50: 1089-1097.
42. Hay JB, Mills SC. (1982). Chemical changes in the wool wax of adult Merino sheep during prolonged wetting and prior to development of fleece rot. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 335-346.
43. Hayman R. (1953). Studies in fleece rot of sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 4: 430-468.
44. Hebart M, Brien F. (2009). Genetics of wool colour in the South Australian selection demonstration flocks. *Proceedings Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 18: 500- 503.
45. Henderson A. (1968). Yellow discolourations. En 'Growing Better Wool', Ed.

- AE, AW Reed, Wellington-Auckland-Sydney, pp. 55-62.
46. Huntsman International LLC.(2007). Textile Effects: POLAR®, ERIONYL® A, TECTILON®. Metallfreie Säure-Farbstoffe für Wolle und Polyamid metal-free acid dyes for wool and polyamide. Available at <http://www.huntsman.com/textile> (verificado 10 Setiembre, 2021).
 47. International Wool Textile Organisation, 2010a. IWTO 56- Method for the measurement of colour of raw wool. International Wool Textile Organisation, Brussels, Belgium.
 48. International Wool Textile Organisation, 2010b. IWTO30- Determination of Staple Length and Staple Strength. International Wool Textile Organisation, Bruxelles, Belgium.
 49. International Wool Textile Organisation, 2010c. IWTO 12- Measurement of the Mean and Distribution of Fibre Diameter Using the Sirolan-Laserscan Fibre Diameter Analyser. International Wool Textile Organisation, Bruxelles, Belgium.
 50. International Wool Textile Organisation, 2010d. IWTO 33: Method for the Determination of Oven-Dry Mass and Calculated Invoice Mass of Scoured or Carbonised Wool. International Wool Textile Organisation, Bruxelles, Belgium.
 51. Jackson I. (1994). Molecular and developmental genetics of mouse coat color. *Annu. Rev. Genet.* 28: 189-217.
 52. James P, Ponzoni W, Walkley J, Smith D, Stafford J. (1983). Preliminary estimates of phenotypic and genetic parameters for fleece rot susceptibility in the South Australian Merino. *Wool Tech. Sheep Breed.* 31, 152-157.
 53. James PJ, Ponzoni RW, Walkley JRW, and Whiteley KJ. (1990). Genetic parameters for wool production and quality traits in South Australian Merinos of the Collinsville family group. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 583-594.
 54. Johnson KG. (1973). Sweat storage as a factor influencing sweat discharge in sheep. *J. Physiol.* 235: 523-534.
 55. Jordan S, Jackson I. (1998). Melanocortin receptors and antagonists regulate pigmentation and body weight. *Bioessays* 20 (8): 603-606.
 56. Koseniuk A, Ropka-Molik K, Rubiś D, Smołucha G. (2018). Genetic background of coat colour in sheep, *Arch. Anim. Breed.* 61: 173–178, <https://doi.org/10.5194/aab-61-173-2018>.
 57. Kremer R, Urioste J, Naya H, Rosés L, Rista L, López C. (2003). Incidence of skin spots and pigmentation in Corriedale sheep. *World Congress of Animal Production*. October 26-31, Porto Alegre, Brasil.
 58. Lewis DM. (2009). The coloration of wool. En ‘Advances in wool technology’. Ed. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, pp.183-213.
 59. Lipson M, Hilton R, Watts J, Merritt G. (1982). Factors influencing fleece rot in sheep. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 22, 168- 172.
 60. Lu D, Willard D, Patel I, Kadwell S, Overton L, Kost T, Luther M, Chen W, Woychik R, Wilkinson W, Cone R. (1994). Agouti protein is an antagonist of the melanocyte-stimulating-hormone receptor. *Nature* 371: 799-802.
 61. Marler J, Samuelsdorff M. (1987). Observations on the influence of the colour

- of wool on its subsequent dyeing performance. II. Implications to the presale measurement of colour. International Wool Textile Organization, Technical Committee Paris. Report N°8, 18pp.
62. Marín JC, Rivera R, Varas V, Cortés J, Agapito A, Chero A, Chávez A, Johnson WE and Orozco-terWengel P. (2018). Genetic Variation in Coat Colour Genes MC1R and ASIP Provides Insights into Domestication and Management of South American Camelids. *Front. Genet.* 9: 487.
 63. Marler J, Samuelsdorff M. (1987). Observations on the influence of the colour of wool on its subsequent dyeing performance. II. Implications to the presale measurement of colour. International Wool Textile Organization, Technical Committee Paris. Report No.8.
 64. McGuirk B, Atkins K. (1984). Fleece rot in Merino sheep. I. The heritability of fleece-rot in unselected flocks of medium-wool Peppin Merinos. *Aust. J. Agric. Res.* 35: 423-434.
 65. Mortimer S, Robinson D, Atkins K, Brien F, Swam A, Taylor P, Fogarty, N. (2009). Genetic parameters for visually assessed traits and their relationships to wool production and liveweight in Australian Merino sheep. *Anim. Prod. Sci.* 49: 32-42.
 66. MGAP (Ministerio Ganaderia Agricultura y Pesca). (2016). Encuesta ganadera nacional 2016. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/resultados-encuesta-ganadera-nacional-2016> (verificado 10 Setiembre, 2021).
 67. MGAP- DICOSE. (2021). Datos Preliminares basados en la Declaración Jurada de Existencias DICOSE – SNIG 2021. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/datos-preliminares-basados-declaracion-jurada-existencias-dicose-snig-2021> (verificado 10 Setiembre, 2021).
 68. Millington KR. (2009). Improving the whiteness and photostability of wool. En: *Advances in wool technology*. Eds. N.A.G. Johnson, I.M. Russell, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Woodhead Publishing, 2009, pp. 217-247, ISBN 9781845693329.
 69. Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee D. (2002). BLUPF90 and related programs (BGF90). En `Proceedings 7th World Congresss Genetic Applied Livestock Production`, Montpellier, France, p. 2.
 70. Mortimer SI, Hatcher S, Fogarty N, van der Werf JHJ, Brown DJ, Swan AA, Greeff JC, Refshauge G, Edwards JEH, Gaunt GM. (2017). Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep. *J Anim Sci.* 95 (5): 1879-1891.
 71. Neimaur K, Sienna I, Kremer R. (2009). Effect of season and staple length on wool colour in a Corriedale flock. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 57 (1): 113-123.
 72. Parsons Y, Fleet M, Cooper D. (1997). Investigation of the gene responsible for recessive pigmentation in Australian Merino sheep. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 12: 447- 451.
 73. Parsons Y, Fleet M, Cooper Des W. (1999). Isolation of the ovine agouti coding sequence. *Pigment Cell Res.* 12: 394-397.

74. Pattinson R, Whiteley K. (1984). Appraisal for the measurement of the colour of Australian wool and the role of colour in sale by description. *Wool Tech. Sheep Breed.* 32: 181- 189.
75. Peinado G, Cardellino R, Mendoza J. (1999). El futuro de la demanda por lana Corriedale bajo la perspectiva del sector exportador. *Lana Noticias* 121: 27-31.
76. Peñagaricano F, Urioste J, López R, Llana F, Lafuente C, López Mazz, C, Naya H, Kremer R. (2007). Variabilidad de niveles de pigmentación en ovinos Corriedale: Resultados preliminares. 1. Pigmentación en zonas de no vellón. *Arch. latinoam. prod. anim.* 15 (1): 471-472.
77. Prota G. (1992). *Melanins and Melanogenesis*. Academic Press, London.
78. R Development Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
79. Raadsma H, Gilmour A, Paxton W. (1989). Fleece rot and body strike in Merino sheep. I. Evaluation of liability to fleece rot and body strike under experimental conditions. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 207-220.
80. Raadsma HW, Kearins RD, Bennett NW, Coy J, Watts JE. (1987). An evaluation of classing Merino sheep for fleece rot susceptibility. *Aust J Exp Agric* 27: 493-501.
81. Raadsma H, Wilkinson B. (1990). Fleece Rot and Body Strike in Merino sheep. IV Experimental evaluation of traits related to greasy wool colour for indirect selection against fleece rot. *Aust. J. Agric Res.* 41: 139-153. <https://doi.org/10.1071/AR9900139>
82. Raquet F. (1997). Encuentro de productores Laneros e industriales “topistas” con investigadores universitarios. Unidad de relaciones y cooperación con el Sector productivo. Universidad de la República. Uruguay.
83. Reid TC. (1993). Variability in the susceptibility of wool to yellowing. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 53: 315-518.
84. Reid TC. (1998). Wool Yellowing. *Wool Tech. Sheep Breed.* 46: 318-337.
85. Reid TC, Botica KJ. (1995). Relationship between Wool colour and fibre diameter in four breeds of Sheep. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 55: 50-53.
86. Roger G, Schlink A. (2010). Wool Growth and Production. En: *International Sheep and Wool Handbook*, Ed. DJ Cottle, Nottingham University Press, Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom, pp.373- 393.
87. Ross DA, Meikle HE. (1985). The processing significance of variations in staple strength within and between fleeces. En *Proceeding 7th International Wool Textile Research Conference* , Tokyo, pp. 45-54.
88. Rottenbury, R. (1984). Colour of wool and processing. *Wool Tech. Sheep Breed.* 32 (3): 190-196.
89. Sánchez A. (2010). Estudio de las asociaciones genéticas entre características de pigmentación y caracteres de producción y de la calidad de la lana en Corriedale. Tesis de grado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, Universidad de la República.
90. Smit M, Shay T, Beaver J, Notter D, Cockett N. (2002). Identification of an agouti-like locus in sheep. *Anim. Genet.* 33: 383-385.

91. Smith J, Purvis I. (2009). Genetic variation in clean wool colour in fine wool Merinos. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 18, 390-393. <http://www.aaabg.org/proceedings18/files/smith390.pdf>
92. Sponenberg D. (1997). Genetics of colour and hair texture. En: *The Genetics of Sheep*, Piper L, Ruvinsky A (Eds.), C.A.B. International, UK, pp. 51-86.
93. Sumner R, Young S and Upsdell M. (2003). Wool yellowing and pH within Merino and Romney fleeces. *Proc Nz Soc Anim Prod* 63: 155- 159.
94. StataCorp. (2011). *Stata Statistical Software: Release 7.0*. College Station, TX, Stata Corporation.
95. SUL. (2019). Normas para el acondicionamiento de lana. Actualización zafrá 2019. Secretariado Uruguayo de la lana, pp. 28. Disponible en: https://www.sul.org.uy/descargas/lib/Normas_para_acond_de_lanas_web.pdf (verificado 10 Setiembre, 2021).
96. SUL. (2021). Boletín de exportaciones del rubro ovino. Febrero 2021. Disponible en: [https://www.sul.org.uy/descargas/be/Bolet%C3%ADn_Exportaciones_del_Rubro_Ovino_\(febrero_2021\).pdf](https://www.sul.org.uy/descargas/be/Bolet%C3%ADn_Exportaciones_del_Rubro_Ovino_(febrero_2021).pdf). (verificado 10 Setiembre, 2021).
97. Sumner RMW, Craven AJ. (2005) Relation between skin structure and wool yellowing in Merino and Romney sheep. *Proc Nz Soc Anim Prod* 65: 197–202.
98. Sumner R, Young S and Upsdell M. (2003). Wool yellowing and pH within Merino and Romney fleeces. *Proc Nz Soc Anim Prod* 63: 155-159.
99. Thompson B. (1989). Colour in wool: The measurement of average yellowness and its implications. *Wool Tech. Sheep Breed.* 36: 96-103.
100. Urioste J, Peñagaricano F, López R, Lafuente C, Laporta J, Naya H, Sienna I, Kremer R. (2008a). Skin spots and pigmentation scores as indicator traits for presence of pigmented fibres in Corriedale fleeces. In: *Proc. 10th World Conference on Animal Production, 23-28 November, 2008, Cape Town, South Africa*, pp: 34. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. ISBN: 978-90-8686-100-2.
101. Urioste J, Peñagaricano F, López R, Laporta J, Llaneza F, Lafuente C, Kremer R. (2008b). Incidence of dark skin spots and pigmentation in comercial Corriedale flocks. En: *Proc. 10th World Conference on Animal Production, 23-28 November, Cape Town, South Africa*, pp: 26. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. ISBN: 978-90-8686-100-2.
102. Urioste J, Peñagaricano F, López R, Llaneza F, Lafuente C, López Mazz C, Naya H, Kremer R. (2007). Variabilidad de niveles de pigmentación en ovinos Corriedale: Resultados preliminares. 2. Lunares en zonas de vellón. *Arch. latinoam. prod. anim.* 15 (1): 472-473.
103. Vage D, Fleet M, Ponz R, Olsen R, Monteagudo L, Tejedor M, Arruga M, Gagliardi R, Postiglioni A, Natrass G, Klungland H. (2003). Mapping and characterization of the dominant black colour locus in sheep. *Pigment Cell Res.* 16 (6): 693-697.
104. Watts JE, Merritt GC, Lunney HW, Bennett NW, Dennis JA. (1981) Observations on fibre diameter variation of sheep in relation to Fleece-rot and

- Body Strike susceptibility. *Aust. Vet. J.* 57(8): 372-376.
105. Whiteley K, Clark M, Welsman S, Stanton J. (1980). Observations on the characteristics of Australian greasy wools. Part II. Colour in Merino fleece wools. *J. Text. Inst.* 71: 177-188.
 106. Whiteley K, Samuelsdorff M, Connell J. (1987). Observations on the influence of the colour of wool on its subsequent dyeing performance. I. International Wool Textile Organization, Technical Committee. Paris. Report N°8.
 107. Wood E. (2002). The basis of wool colour measurement. *Wool Tech. Sheep Breed.* 50: 121- 132.
 108. Wood E. (2010). Wool processing. In: *International Sheep and wool Handbook*, Ed. DJ Cottle, Nottingham University Press, Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom, pp. 619-646.
 109. Wood J, Reid T, Munro M, Sherlock R, Mclaughlin J. (1997). Relationships between the compounds causing scourable diffuse yellow and yellowness of greasy and clean wool. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 57: 70- 72.
 110. Wuliji T, Dodds K, Land J, Andrews R, Turner P. (2001). Selection for ultrafine Merino sheep in New Zealand: heritability, phenotypic and genetic correlations of liveweight, fleece weight and wool characteristics in yearlings. *Anim. Sci.* 72, 241- 250. <https://doi.org/10.1017/S1357729800055739>

11. ANEXOS

11.1. Artículo I

 <p>ISSN NO. 2320-5407</p>	<p>Journal Homepage: -www.journalijar.com</p> <p>INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)</p> <p>Article DOI: 10.21474/IJAR01/7626 DOI URL: http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/7626</p>	 <p>INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)</p>
---	--	--

RESEARCH ARTICLE

COLOUR OF CORRIEDALE WOOL AND ITS EFFECT ON DYEING.

Neimaur K¹, Fernández A², Pérez V², Sienra I¹, Urioste JI³ and Kremer R¹.

1. Sheep and Wool Department, Veterinary Faculty, UDELAR, Lasplaces 1550, Montevideo, Uruguay.
2. Depto. Textiles, Lana Bruta, Tops y Cueros. Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Av. Italia 6201, Montevideo, Uruguay.
3. Animal Production and Pastures Department, College of Agriculture, UDELAR, Garzón 780, Montevideo, Uruguay.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 23 June 2018
Final Accepted: 25 July 2018
Published: August 2018

Abstract

The objective of the essay was to study the effect of wool scoured color on the color acquired after dyeing and the interaction between wool yellowness with different light stains in Corriedale wool. According to the value of yellowness index (Y-Z) measured using a Hunterlab spectrophotometer, 5 homogeneous carding webs were prepared (mean Y-Z values of -0.84, 0.74, 2.50, 4.77 and 7.79, respectively). A dyeing procedure was performed using three acid colorant: Blue Erionyl AR, Yellow Erionyl A-3G and Red Erionyl A-3G. Color measurements of dyeing samples using the CIELAB L* a* b* system were carried out. The total color difference (ΔE) of the dyed samples was calculated from L*, a*, b* coordinates. Significant effects ($P < 0.001$) of dye and carding web initial color were found on all color parameters. ΔE values increased with increasing values of initial Y-Z, the yellower the sample was, the higher the ΔE that presented. The position of cut off point in the Y-Z scale from which difficulties in staining were evident, was under 0.74. In conclusion, a difference in color in dyed wool with pastel shades can be visually detected even starting from low values of scoured color, and these differences vary with dyes used.

Copy Right, IJAR, 2018,. All rights reserved.

Introduction:-

Many parameters determine the quality of wool: fibre diameter, staple length, wool color and yield. Wool scoured color can vary from white, through creamy to yellow colorations and it is important as it indicates the color palette that can be used for dyeing. The presence of yellow colorations in wool is the result of a complex interaction between fleece structure, non-fibre components, bacteria (Cottle et al., 1992) and environmental factors such as warm temperatures, high rainfall and moist conditions (Aitken et al., 1994; Reid, 1994). The incidence of these colorations varies with locations and breeds.

Clean wool color can be measured using a Colorimeter that brings information of yellowness index (Y-Z) and luminosity or brightness (Y) (Wood, 2002). The values of Y-Z (CIE D65/10) may vary approximately from -2.0 (extremely white) to 12.0 (bright yellow) (IWTO 56). A higher Y value indicates a better color due to higher brightness.

Corresponding Author:- Neimaur K.

Address:- Sheep and Wool Department, Veterinary Faculty, UDELAR, Lasplaces 1550, Montevideo, Uruguay.

1163

Corriedale breed represents the 45% of the Uruguayan flock (MGAP, 2017). Its wool is characterized by fibre diameter between 25 and 30 μm , high yield (78%), good staple strength (33.1N/ktex), low vegetable matter content, but with an average scoured color of 4.2 Y-Z units, which is a cream color (Capurro, 1996). For this breed, it is considered that Y-Z values below 2.0 are very good, 2.0 to 4.0 acceptable and higher than 4.0, insufficient color (Peinado et al., 1999). Corriedale wool presents a creamier coloration than Australian Merino wool (Abella, 2011).

The goal of wool dyeing is to obtain a colored product in the desired shade, uniform in intensity and tone of color, produced by an economic process and exhibiting satisfactory fastness properties in the finished product (Peter and Rouette, 1989). The presence of yellow colorations in wool has been associated with poor performance of dyeing (Rottenbury, 1984; Marler and Samuelsdorff, 1987; Whiteley, 1987; Reid, 1993), limiting the range of colors that it can be dyed. In the majority of end-uses, the natural color of wool is adequately covered by most dyeing, but if fashion dictates a very white or a bright pastel colored article then it is necessary that the fibre should be given some sort of bleaching procedure (Duffield and Lewis, 1985). However, this practice may lead to unnecessary fibre damage or to color instability (Lewis, 2009).

While there are several studies about dyeing Merino wool (Milligan, 1966; Brady, 2005), there is no available information about dyeing Corriedale wool. Moreover, there is no information about where in the Y-Z scale is the cutoff point from which difficulties in staining with pastel colors are notorious and if the performance of this wool against dyeing process varies with different pastel shades.

The knowledge of Corriedale wool performance when dyeing with pastel colors would be of interest to validate or quantify the suggestions from the industry on the importance of producing whiter wool. Thus, the objective of the essay was to study the effects of wool scoured color on the color acquired after dyeing and the interaction between wool yellowness with the different light stains in Corriedale wool.

Material and Methods:-

Preparation of wool samples

Wool samples from 200 Corriedale sheep of the Migues Experimental Station of Veterinary Faculty (Uruguay) were extracted from midside during shearing. They were scoured in a 4 pools-carwash, using hot water and a nonionic detergent diluted to 25% in the first three pools. They were centrifuged, dried at a temperature of 60°C and conditioned in the laboratory at 20°C \pm 2 and 65% \pm 3 of relative humidity. After that, they were carded in order to remove vegetable matter. Clean wool colour was measured using a Hunterlab Miniscan XE spectrophotometer (IWTO 56), obtaining data of yellowness index and luminosity or brightness. According to the value of Y-Z obtained and considering the average scoured colour of 4.2 Y-Z units, recorded by Capurro 1996) in the characterization of Corriedale Uruguayan wool, 5 groups of samples were prepared (Table 1).

Table 1:-Y-Z value of the different groups of samples prepared

Group	Y-Z
1	0.5- 1.0
2	2.0- 2.5
3	4.0-4.5
4	>7.0
5 (Control)	<0.0

Samples in each group were blended and carded in a carding machine, obtaining 5 homogeneous carding webs.

Measurements and analysis

Clean wool color of the 5 carding webs was measured in order to check color homogeneity while mean fibre diameter (MFD) and coefficient variation of fibre diameter (CV) were determined using a Sirolan Laserscan (IWTO 12, 2009).

The carding process, fibre diameter and wool color measurements and the dyeing procedure were carried out in Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

Dyeing Procedure

Three acid colorants were used: Blue Erionyl AR, Yellow Erionyl A-3G and Red Erionyl A-3G. The dyeing procedure was performed in a Roaches Dyeing equipment. Each wool carding web was dyed with the 3 colorants, so 12 dyeing procedures were done. The equipment had 10 metal containers, thus for each dyeing process, 10 samples of 4g of wool were used, 9 of the corresponding carding web and 1 control sample (Y-Z lower than zero).

A general dyeing bath was prepared with 2000 mL of water, acetic acid (drops) and the selected dye. The quantity of dye used for each color and card web was 0.0008g for Yellow Erionyl A-3G and Blue Erionyl AR and 0.0003g for Red Erionyl A-3G. The bath ratio was 1/50 (wool gram/50 mL of water). Wool samples were previously dipped in water in order to be wetted. The dyeing bath (200mL) was placed in each metal container and wet wool was added. The dyeing equipment had to be at a temperature of 40°C until the placement of the metal containers inside. The elevation of the bath temperature was 1°C per minute, up to 98°C, temperature at which the samples were for 40-60 minutes; next, the bath temperature was lowered to 80°C (Huntsman International LLC, 2007). Finally, wool samples were air dried and manually carded.

Color measurements

Color measurement of the dyed samples was carried out using a Hunterlab Miniscan XE spectrophotometer with illuminant D65 and 10° observer (geometry 45°/0°). Data obtained were L*, a*, b* coordinates.

Statistical analysis

Means and standard deviation of L*, a*, b* in the 4 carding webs and the control one stained by the 3 dyes were determined. An analysis of variance (ANOVA) was carried out to analyse the effect of carding web initial color (Group 1: Y-Z 0.5-1, Group 2: Y-Z 2-2.5, Group 3: Y-Z 4-5, Group 4: Y-Z>7) and the effect of dye used (Blue Erionyl AR, Yellow Erionyl A-3G and Red Erionyl A-3G) on the colorimetric characteristics. The interactions between these effects were also determined. The total color difference of the dyed samples was calculated from the L*, a*, b* coordinates by applying the following equation:

$$\text{Total color difference } (\Delta E) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Where $\Delta L^* = L^* \text{ sample} - L^* \text{ standard}$; $\Delta a^* = a^* \text{ sample} - a^* \text{ standard}$; $\Delta b^* = b^* \text{ sample} - b^* \text{ standard}$ (ASTM Standards, D2244-11, 2011).

A multiple linear regression was fitted to obtain prediction equations of ΔE from ΔL , Δa and Δb variables. All the statistical evaluations were performed with STATA statistical package program (Stata Statistical Software, 2011).

Results and discussion:-

Physical measurement of samples before dyeing

The 5 carding webs defined by their Y-Z value showed similar values of mean fibre diameter (between 25.8 and 27.2 μm), comparable with those reported for this wool breed in Uruguay (Abella et al., 2010) (25-32 μm) and considering that hogget's wool is finer. Table 2 shows clean wool color and fibre diameter characteristics of the card webs.

Table 2:-Means and standard deviation of clean wool colour, mean fibre diameter and coefficient of variation of fibre diameter of the carding webs.

Carding web	Color (Y-Z)	MFD (μm)	CV (%)
C1	0.74± 0.09	25.81±0.11	22.4±0.17
C2	2.50±0.09	26.72±0.06	23.5±0.19
C3	4.77± 0.08	26.25±0.12	24.9±0.22
C4	7.79±0.10	27.21±0.07	24.9±0.25
Co	-0.84±0.06	26.63±0.05	23.8±0.13

C1= Carding web 1; C2= Carding web 2; C3= Carding web 3; C4= Carding web 4; Co= Control carding web.

Colorimetric measurement

The CIELAB L* a* b* system is derived from the X, Y, Z system, and is preferred by dyers because it facilitates color difference measurements, important for the matching of dyes (Wood, 2002). The value of lightness (L*) refers to level of lightness or darkness of the produced shade, and ranges from 0 (black) to 100 (white). The a* parameter

represents the red/green value (positive sign=red, negative sign=green) and b* parameter, the yellow/blue value (positive sign=yellow, negative sign=blue).

The samples dyed with Yellow Erionyl A-3G showed increasing values of b* coordinate. This fact should be expected as we are adding a yellow dye to a cream-yellow base, intensifying b* values towards the yellow region. Moreover, these b* values were positive and the highest obtained from the three dyes used (16.94 to 22.92).

For the Blue Erionyl AR, negative values of a* coordinate were observed, indicating shifting of this color coordinate towards the green region of the color space diagram. Secondly, increasing positive values of the b* coordinate from C1 to C4 were obtained, instead of the negative values that would be expected for this blue staining, demonstrating an increasing change towards the yellow region, possibly due to the increasing wool color base. Lightness also showed a reduction from values of 74.58 to 72.61.

In the carding webs dyed with Red Erionyl A-3G, a decrease of lightness from C1 to C4 was produced while an increase in b* coordinate was obtained.

In Table 3, means and standard deviations of color parameters of the carding webs dyed with the three colorants are showed.

Table 3:-Mean and standard deviation of Colorimetric data (L*, a*, b*) of the different carding webs dyed with three colorants.

Dye	Carding web	L*	a*	b*
Yellow Erionyl A-3G	Co	80.12±0.26	-1.32±0.36	19.04±0.39
	C1	81.25±0.25	-1.27±0.24	17.22±0.39
	C2	79.34±0.25	-0.32±0.10	16.94±0.44
	C3	79.37±0.13	-0.44±0.28	21.92±0.22
	C4	79.30±0.43	-0.53±0.21	22.92±0.56
Blue Erionyl AR	Co	74.50±0.23	-5.19±0.66	1.25±0.41
	C1	74.58±0.39	-6.03±0.55	2.39±0.50
	C2	73.72±0.13	-4.54±0.31	4.50±0.27
	C3	73.56±0.35	-5.53±0.25	5.18±0.36
Red Erionyl A-3G	Co	75.88±0.19	11.14±0.34	9.40±0.13
	C1	77.47±0.12	10.56±0.23	9.08±0.10
	C2	74.89±0.30	8.80±0.13	11.73±0.43
	C3	74.37±0.48	10.16±0.54	12.58±0.21
	C4	73.67±0.28	12.52±0.28	14.86±0.38

C1= Carding web 1; C2= Carding web 2; C3= Carding web 3; C4= Carding web 4; Co= Control carding web

Effect of carding web initial color and dye used on the colorimetric characteristics

A significant dye effect ($P < 0.001$) on all color parameters was found, as well as a card web initial color effect ($P < 0.001$). As initial Y-Z values increased from C1 to C4, L* declined, which was concordant with Andrews et al. (1988). On the contrary, b* coordinates increased, becoming more yellow, which it would be explained by wool base color, which also got higher from C1 to C4. The interaction between carding web yellowness and dye effects was significant ($P < 0.001$).

Effects of card web initial color (Y-Z) and dye used on the colorimetric characteristics are showed in Table 4.

Table 4. Effect of card web initial color (Y-Z) and effect of dye used on the colorimetric characteristics (L*, a*, b*).

	L*	a*	b*
Yellow Erionyl A-3G	79.82±0.88	-0.64±0.49	19.75±2.76
Blue Erionyl AR	73.62±0.77	-5.68±0.84	4.62±1.51
Red Erionyl A-3G	75.10±1.48	10.51±1.38	12.06±2.11

Effect	***	***	***
C1	77.77±2.79	1.08±7.12	9.56±6.19
C2	75.98±2.47	1.31±5.68	11.06±5.21
C3	75.77±2.63	1.39±6.67	13.23±6.98
C4	75.19±3.01	1.79±8.14	14.73±6.88
Effect	***	***	***
C#C	***	***	***

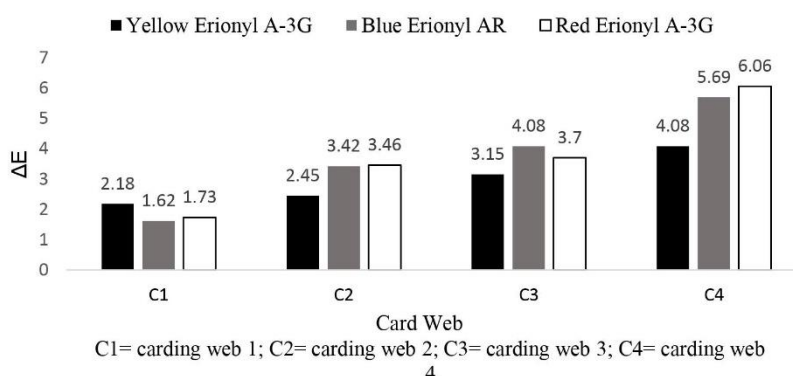
C1= Carding web 1; C2= Carding web 2; C3= Carding web 3; C4= Carding web 4; Co= Control carding web; ***= significant P<0.001

Total color difference (ΔE)

It has been found that the summation of three, vector color-difference components (L^* , a^* , b^*) into a single scalar value is very useful for determining whether a specimen color is within a specified tolerance from a standard (ASTM Standards, D2244-11, 2011). Moreover, it is interesting to find out if the human eye can also detect these significant differences. The parameter that provides this information is total color difference, calculated using a control-carding web. According to Bechtold (2007), a color difference of 1.0 is accepted as tolerable between two dyes when using synthetic dyes. Willis (1997) coincided with this value for commercial purposes.

In the current essay, the ΔE values obtained for the three dyes were higher than 1.0 for all carding webs. It can be clearly seen that ΔE values of the samples increased with increasing values of initial Y-Z of the different carding webs (from C1 to C4), the yellower the sample was, the higher the ΔE that presented. The highest ΔE value (6.06) was obtained for the Red Erionyl A-3G colorant, while the lowest one (1.62) with Blue Erionyl AR. Considering carding webs, in C1, the highest ΔE was recorded with Yellow Erionyl A-3G dye, while in C4 (the yellowest carding web), with Red Erionyl A-3G. Significant dye and carding web effects on ΔE and a significant interaction between dye and carding web were obtained (P<0.001). In Fig. 1, total color difference of each carding web dyed with the different colorants is presented.

Figure 1:-Total color difference (ΔE) of the carding webs dyed with the different colorants.



Multiple linear regression analysis was used to develop a model for predicting total color change from ΔL^* , Δa^* and Δb^* . The results showed that the model, being significant at $P \leq 0.05$, explained 74.6% of ΔE . ΔL^* and Δb^* had both significant regression weights, indicating that for each unit increase in the ΔL^* score, ΔE decreased at 0.52 and that for each unit increase in the Δb^* score, ΔE increased by 0.28. Otherwise, Δa^* had no significant regression weight. The results indicated that the total color difference was mainly based on the differences in b^* and L^* . This gave a pattern of movement of the axis b^* toward the yellow region, possibly due to wool base color, and strengthened the suggestion that brightness decreases with wool yellowing.

According to Skinner (1958), wool-dyer requires wool slivers and tops with a perfect white color. It had been described that poor color limits the range of shades to which a wool can be dyed, often precluding its use in products

requiring light pastel shades (Teasdale, 1995). Moreover, Wood (2003) suggested that a yellow wool cannot be dyed to a light pastel shade and hence it has a lower dyeing potential. The color difference found in wool with Y-Z values lower than 1.0, demonstrated that for this kind of shade, color requirements might be higher. The position of cut off point in the Y-Z scale from which difficulties in staining with pastel colors were perceived was under 0.74 in this Corriedale wool. From this value on, subjective visually evaluation could detect differences in color and these differences varied with the pastel dye used. However, the human eye is the final arbiter in deciding not only at what point matches become unacceptable (Jaeckel and Ward, 1964), but also at what degrees of color change cause complaints.

Conclusions:-

This essay quantifies the significant effects of wool scoured color (yellowness) and pastel dyes on the acquired color of wool after dyeing. As Y-Z values of carding webs increased, total color difference determined after dyeing was greater. This difference was detected even in wool with Y-Z values lower than 1.0 and was mainly based on variations in b* and L* parameters. From this value on, dyeing performance would be affecting the colour acquire after dyeing, with variation according to the pastel dye used.

Acknowledgments:-

This work was funded by Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC- UDELAR- Uruguay). The authors thank Mr. Carlos Belloso, company director of INOVUM S.R.L., who generously provided dyes and staining advice.

References:-

1. Abella, I. (2011): Uruguay, productor de lanas de calidad. In: 'XV Congreso Latinoamericano de Buiatría, XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría'. pp. 185-188. (Paysandú, Uruguay).
2. Abella, I., Cardellino, R.C., Mueller, J., Cardellino, R.A., Benítez, D., Lira, R. (2010): South American Sheep and Wool Industries. In 'International Sheep and Wool Handbook'. (Ed. D. Cottle) pp. 85-94 (Nottingham, NG11 0AX, United Kingdom).
3. Andrews, R., Hawker, H., Littlejohn, R. (1988): Some aspects of the colour measurement of New Zealand wool, with emphasis on measurement by liquid scintillation spectrometry. *New Zeal J Agr Res* 31: 233-241.
4. Aitken, F.J., Cottle, D.J., Reid, T.C., and Wilkinson, B.R. (1994): Mineral and amino acid composition of wool from New Zealand Merino sheep differing in susceptibility to yellowing. *Aust J Agric Res* 45 (2): 391-401.
5. ASTM D2244-11 (2011): Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM International, West Conshocken, PA, American Society for Testing and Materials. Available at <http://www.astm.org> (accessed on 4 July 2018).
6. Bechtold, T., Mahmud-Ali, A., Mussak, R. (2007): Natural dyes for textile dyeing: A comparison of methods to assess the quality of Canadian golden rod plant material. *Dyes Pigm* 75: 287- 293.
7. Brady, R. (2005): Diffusion of dyes into Merino wool fibres. In 'Proceedings of the 11th International Wool Research Conference' (Leeds, England).
8. Capurro, G. (1996): Caracterización de la lana producida por la raza Corriedale en Uruguay. *Lana Noticias* 116: 22-26.
9. Cottle, D.J., Zhao, W., and Jones, J.C. (1992): Experiments to promote colour changes in wool. *J Chem Technol Biotechnol* 55 (4): 351-354.
10. Duffield, P., Lewis, D. (1985): The yellowing and bleaching of wool. *Rev Prog Color Relat Top* 15: 38-51.
11. Huntsman International LLC (2007): Textile Effects: POLAR®, ERIONYL® A, TECTILON®. Metallfreie Säure-Farbstoffe für Wolle und Polyamid metal-free acid dyes for wool and polyamide. Available at <http://www.huntsman.com/textile> (accessed on 4 July 2018).
12. IWTO-12 (2009): Measurement of the Mean and Distribution of Fibre Diameter Using the Sirolan-Laserscan Fibre Diameter Analyser. IWTO Red Book Specifications (International Wool Textile Organisation, Brussels Belgium).
13. IWTO 56 (2010): Method for the measurement of colour of raw wool. IWTO Red Book Specifications (International Wool Textile Organisation, Brussels Belgium).
14. Jaeckel, S., Ward, C. (1964): Fading of pastel colours on wool by light and sulphur dioxide. *J. Soc. Dyers Color* 80 (2): 72-82.
15. Lewis, D.M. (2009): The coloration of wool. In 'Advances in wool technology'. Ed. Woodhead Publishing Limited) pp.183-213 (Cambridge, England).

16. Milligan, B. (1966): Studies in Wool yellowing Part XV: The yellowing of shrink-resistant wools under dyebath conditions. *Text Res J* 36 (11): 1012-1015.
17. Marler, J., Samuelsdorff, M. (1987): Observations on the influence of the colour of wool on its subsequent dyeing performance. II. Implications to the presale measurement of colour. International Wool Textile Organization, Technical Committee Paris. Report No.8.
18. MGAP (2018): <http://www.mgap.gub.uy/noticia/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politica-agropecuaria/14-12-2017/expusieron-datos> (accessed on 4 July 2018).
19. Peinado, G., Cardellino, R., Mendoza, J. (1999): El futuro de la demanda por lana Corriedale bajo la perspectiva del sector exportador. *Lana Noticias* 121: 27-31.
20. Peter, M., Rouette, H. (1989): 'Grundlagen der Textilveredlung. Hand buch der Technologie, Verfahren, Maschinen (13th edn).' (Deutscher Fachverlag, Frankfurt).
21. Reid, T. (1993): Variability in the susceptibility of wool to yellowing. *Proc New Zeal Soc An* 53: 315-518.
22. Reid, T. (1998): Wool Yellowing. *Wool Tech Sheep Bree* 46: 318-337.
23. Rottenbury, R. (1984) Colour of wool and processing. *Wool Tech Sheep Bree* 32: 190-196.
24. Skinner, J.N. (1958): The colour problem in Merino wool. *Wool Tech Sheep Bree* 5 (1): 139-142.
25. Stata Statistical Software StataCorp (2011): Release 7.0. College Station, TX, Stata Corporation. Stata Statistical Software: Release 7.0.
26. Teasdale, D.C. (1995): *The Wool Handbook – The A to Z of Fibre to Top*. (Croydon, New South Wales), pp. 1.
27. Whiteley, K., Samuelsdorff, M., Connell, J. (1987): Observations on the influence of the colour of wool on its subsequent dyeing performance. I. International Wool Textile Organization, Technical Committee. Paris. Report N°8.
28. Willis, R. (1997): Objective color difference evaluation. *Color Technology in the Textile Industry*. Second Edition (Ed. AATCC Committee RA36) pp.97-99
29. Wood, E. (2003): Textile Properties of Wool and Other Fibres. *Wool Tech Sheep Bree* 51 (3): 272-290.
30. Wood, E. (2002): The basis of wool colour measurement. *Wool Tech Sheep Bree* 50: 121- 132.



Contents lists available at ScienceDirect

Small Ruminant Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/smallrumres



Climatic and genetic effects in seasonal measurements of colour in Corriedale wool

K. Neimaur^{a,*}, J.I. Urioste^b, H. Naya^{b,c}, A.L. Sanchez^b, I. Sierra^a, R. Kremer^a

^a Departamento de Ovinos, Lanas y Caprinos, Facultad de Veterinaria, Av. Las Plazas 1550, Montevideo, Uruguay

^b Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Av. Garzón 780, Montevideo, Uruguay

^c Unidad de Bioinformática, Institut Pasteur de Montevideo, Matajojo 2020, Montevideo, Uruguay

ARTICLE INFO

Keywords:

Wool yellowing
Meteorology
Sampling time
Sampling area

ABSTRACT

Wool colour is an important quality trait indicating dyeing potential, and it is described by two components: yellowness and brightness. The aims of this research were to: a) estimate the effect of climatic variables on wool yellowness and brightness; b) know if wool colour was genetically the same trait or it is expressed differently along time. Data from ewes progeny ($n = 1371$) of two experimental flocks were used. Mid-side and back wool samples were taken in summer, autumn, winter, and spring, to determine yellowness and brightness. Models considered the fixed effects of sex, litter size, experimental station, staple length, average maximum temperature, accumulated rainfall and average relative humidity, and the animal as a random genetic effect. Differences between sampling areas were estimated by the simple use of Test t (Student) for differences between means.

A yellowness value of 1.77 ± 1.77 units was found in spring sampling (complete staple length), with great variability between animals; brightness was 63.58 ± 3.63 . The lowest yellowness values were obtained in the winter sampling; the yellowness value recorded in the back area was significantly higher than that obtained in mid-side ($P < 0.001$) in summer and winter samplings. Positive associations were evident with accumulated rainfall with yellowness in summer and autumn samplings. Favourable associations between mid-side Y and maximum temperature were obtained, except in spring sampling; for relative humidity, the associations were unfavourable. Heritability estimates of yellowness and brightness in all mid-side and back samplings were of low to intermediate magnitude. Genetic correlations among samplings were positive and low to moderate for mid-side yellowness, very low to moderate for mid-side brightness, and very low to high for back brightness.

This study demonstrates that yellowness and brightness are associated with climatic effects. Wool colour traits are heritable and the moderate genetic associations among seasonal samplings suggest that they were not the same trait along time. Further investigation should be conducted to study possible interactions among climatic variables, as well as seasonal genetic variation in yellowness and brightness. Genetic correlations with other economically important traits is another area for future studies.

1. Introduction

Wool colour is one of the most important traits for the textile industry as it indicates wool dyeing potential. Colour can vary from white, through cream to yellow, the latter being a problem for processors due to the need for a bleaching process before dyeing, which increases processing costs and causes some fibre damage (Wood et al., 1997). According to its presentation, three types of yellow wool colourations had been described: diffuse yellow, canary yellow and 'fleece rot' (Henderson, 1968). Diffuse yellow is a removable scoured colour that, as the name implies, diffuses in the fleece and is caused by oxidation of suint

pigments. Canary yellow is mainly located in the belly and other portions of fleece that grow closer to the ground. It is associated with a greater proportion of suint, and the presence of chromophores (Dyer et al., 2007). Fleece rot is a colouration arranged in horizontal bands mostly on the back area (Henderson, 1968) and in particular, it has been associated with the presence of the bacterium *Pseudomonas aeruginosa* (Burrell et al., 1982). Both canary yellow and 'fleece rot' are non-removable scoured colours.

Breeds differ in their predisposition to fleece yellowing (Reid and Botica, 1995) as do individual sheep in a flock (Aitken et al., 1994), indicating a genetic basis for the propensity of wool to yellowing (Reid,

* Corresponding author.

E-mail address: kneimaur@hotmail.com (K. Neimaur).

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106449>

Received 8 July 2020; Received in revised form 29 November 2020; Accepted 4 June 2021

Available online 7 June 2021

0921-4488/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

1998). In fine wool, yellowness values range from 0 to 1 Y–Z units considered an optimum colour (Cottle and Baxter, 2015). In South Australian Merino animals, an average wool yellowness of 1.50 Y–Z units and a heritability estimate of 0.42 was reported (James et al., 1990). The Corriedale is the main breed in Uruguay, and data regarding wool yellowness in this breed is scarce. It has been characterized by medium fibre diameter (25–30 μ) and average wool yellowness of 4.2 Y–Z units, which is a strong cream colour, with variation according to farm and year (Capurro, 1996). In New Zealand, an average scoured colour of 0.83 Y–Z units was reported in the Corriedale breed and linked to a heritability of 0.27 (Benavides et al., 2000; Benavides and Maher, 2003; Benavides and Maher, 2002).

Yellow colourations do not occur in all animals or every year, which makes it difficult to establish a protocol to reduce their incidence. Yellowing was reported more frequent in young animals; although canary yellow could be seen in sheep of all ages (Henderson, 1968). However, greasy wool colour is a characteristic strongly influenced by the environment (Aitken et al., 1994; Reid, 1998; Sumner et al., 2003), particularly in hot, humid and rainy conditions. Moisture is central for fleece rot development in Merinos, after prolonged wetting of the fleece and skin of susceptible sheep under natural conditions (Raadsma, 1989). Several experiments exposed sheep to simulated rains and demonstrated that fleece rot in sheep is partially dependent on humidity and rainfall (Raadsma et al., 1989; Watts et al., 1980). The presence of water in the fleece after exposure to rainfall is likely to provide improved habitat for bacterial growth. Additionally, changes in wool wax and suint composition occurred, predisposing to the appearance of yellow colourations (Hay and Mills, 1982).

Despite the importance of climatic factors on wool colour, these traits have not been adequately evaluated as predictors of wool yellowness. Moreover, as seasonal variation of wool colour throughout the year has not been described yet, it is considered essential to understand the impact of rainfall, temperature and humidity on wool colour evaluated at different sampling times during the year. Therefore, the objectives of this study were to determine the effects of climatic variables on wool yellowness and brightness. Additionally, as no genetic studies on this seasonal variation have been reported before, genetic parameters were estimated, to determine if wool colour expressed in different seasons was genetically the same trait or it was expressed differently along time.

2. Materials and methods

2.1. Experimental location and animal management

The experiment was carried out on two Corriedale flocks at the Migues Experimental Station (Mig) from Facultad de Veterinaria (34.22 °S, 55.36 °W) and Bernardo Rosengurt Experimental Station (Bern) from Facultad de Agronomía (32.35 °S, 54.15 °W) in Uruguay. The average annual temperature for the country is around 17 °C; the highest temperatures occur in January and February and the lowest in June and July. The total average annual rainfall has its minimum value towards the south with almost 1000 mm, and its maximum towards the north-east, with 1400 mm. Besides, rainfall is characterized by its extreme irregularity and variability. The average annual relative humidity ranges between 70 % and 75 % (INUMET, 2020).

The experimental procedures were approved by the Animal Ethics Committee of the Facultad de Veterinaria- Universidad de la República (CEUAFVET-PI-15/14, 22/5/2014). Ewes in each experimental station were mated in April and lambled in September. They were running together with cattle, grazing on natural pastures (average 2500 kg DM year.ha). Lambs were weaned in December and then shorn at approximately 15 weeks of age, prior to the start of the trial. The experiment was conducted in these weaned lambs (males and females) during the year following their birth, from summer to the end of spring (January to November in the Southern Hemisphere), and for a three years period.

2.2. Database

Both flocks have been under an experimental design consisting of paternal half-sib families and have been genetically connected by sharing rams (Sánchez et al., 2016). Shared rams were included in family counts in both flocks; these common rams had offspring in the flocks and were used for more than 1 year. The number of animals evaluated by year and experimental station, number of sires and mean group progeny are shown in Table 1.

2.3. Wool sampling and measurements

Wool samples (20 g each) were taken from mid-side and back areas of the body every 3 months, up to yearling fleece shearing (in summer, autumn, winter and spring) to determine wool scoured colour. Each wool sample had its complete staple length according to time of sampling, taking care not to sample from exactly the same body site as previous samples. In the Wool Laboratory of the Sheep and Wool department, wool samples were scoured in four basins with water and a non-ionic detergent. Then, they were dried at 30 °C and conditioned at 20 °C \pm 2 and 65 % \pm 3 of relative humidity. Wool colour was measured using a HunterLab Miniscan XE colorimeter and expressed in terms of the tristimulus values X, Y and Z. These values represent the amount of the red/orange (X), yellow/green (Y), and blue/indigo/violet (Z) components of the spectrum of white light reflected from the sample, and they are used to calculate the wool yellowness (Y–Z; higher values are more yellow), and brightness (Y; higher indicates brighter or more intensity of reflection) (IWTO, 2010a).

Staple length was measured in five greasy staples (IWTO, 2010b).

2.4. Climatic data

Weather data were provided by the Dirección Nacional de Meteorología (DNM; Uruguay). These data consisted of daily average records of maximum temperature (Tmax) and relative humidity (RH) from weather stations located near the experimental stations. Rainfall (R) was daily recorded in each experimental station and evapotranspiration records were provided by agroclimatic stations of Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA; Uruguay).

2.5. Statistical analysis

Data were analyzed with the R package (R Development Core Team, 2018). Statistical analyses were of increasing complexity. Firstly, a descriptive statistic of average and standard deviation, maximum and minimum of scoured wool colour (yellowness and brightness) in the successive sampling times were performed. Secondly, differences between sampling areas (mid-side and back areas), were estimated by the simple use of Test t (Student) for differences between means. Thirdly, we applied a model selection approach.

The model selection process incorporated both the consideration of the environmental variables to be included and the periods over which the climatic variables were to be summarized. The environmental variables were divided into two groups: the climatic variables (defined as

Table 1
Number of animals, sires and mean progeny group size evaluated at Migues (Mig) and Bernardo Rosengurt (Bern) Experimental stations in a three-year period.

Year	Mig			Bern		
	Animals	Sires	Mean progeny group size	Animals	Sires	Mean progeny group size
2012	228	6	35	328	13	32
2013	111	6	18	259	8	32
2014	184	7	26	261	7	37

covariates) and the non-climatic environmental effects (including sex, litter size, experimental station and staple length, where staple length is defined as a covariate, and the other effects as class variables). For the second group, the process was simply to include all variables in the models to be tested. For climatic variables, in addition to considering the optimum combination of variables, for each variable, all the information from a relevant period was summarized in a single data point.

In a first approximation, the time interval and the way to summarize the most representative information for each of the four dependent variables (wool colour and brightness on the back and mid-side) was determined. Models included the non-climatic environmental effects and Temperature-Humidity Index (THI) and rainfall (R) as climatic variables. The two ways of summarizing the information were: a) mean of THI and accumulated R and b) number of days in the period with THI > 70 and number of days in the period with R > 10 mm. The periods in which information was summarized for each of the 4 sampling times and 4 dependent variables were 7, 15, 30, 60, 90, 180, 270 and 360 days before sampling.

The main criterion for model comparison was the Bayesian Information Criteria. Preliminary results indicated that the period usually most significant was that which covered the development of the staple until its sampling. Henceforth, the summary of climatic information was made from January 1 until sampling date; it was also decided to use only averages and accumulated data. In a second step, we considered other sets of climate variables that could generate better models and THI was discarded. Accordingly, in addition to the previous models, we decided to test models with Maximum temperature (Tmax), rainfall (R) and relative humidity (RH) or Tmax, R, and evapotranspiration as linear covariables. From the Bayesian Information Criteria obtained for each sample (data not shown), the complete models were retained using Tmax, R, and RH as climatic variables for further analyses.

Final models included four dependent variables (mid-side yellowness, back yellowness, mid-side brightness, back brightness) and the fixed effects of sex, litter size, experimental station, staple length, maximum temperature (average in the period), accumulated precipitation and relative humidity and the animal as a random genetic effect, distributed as $N(0, G_0 A)$, where G_0 is a matrix of additive genetic (co) variances between traits (seasonal samples) and A is the matrix of relationships between the animals in the pedigree. Components of (co) variance and genetic parameters were estimated using a four-trait analysis, considering each seasonal sample of colour traits (Y-Z and Y) in each sample time for mid-side and back areas as specific trait. Accordingly, the expression of the same trait in different seasons was treated as genetic different traits. Parameter estimation was performed using the software Thrgibbs1f90 (Misztal et al., 2002) and summarized from a posteriori distributions, using Postgibbsf90 (Misztal et al., 2002) and the R suite (R Development Core Team, 2018). To ensure convergence, 4 million iterations were run after a burn-in of 1 million, with a thinning of 500 iterations. In all cases, convergence was checked using the CODA package for R, visually inspecting the evolution of the chains and using the Geweke test.

To describe genetic parameters, the following heritability classification range was used: low (<0.15), medium (0.15–0.40), high (0.40–0.60), and very high (>0.60). For correlations (absolute value): very low (<0.20), low (0.2–0.4), medium (0.4–0.6), high (0.6–0.8), and very high (>0.8) (Cardellino and Rovira, 1989).

3. Results

3.1. Wool yellowness and brightness

As shown in Table 2, in sampling corresponding to yearling fleece shearing (complete staple length, spring), yellowness ranged from -1.56 to 11.32, which indicates a great variability between animals. This wide variability was also recorded in the remaining samplings, in which, 25 % of them had yellowness values lower than 1.44 Y-Z units, while 75 % of

Table 2

Mean, standard deviation, minimum and maximum of wool yellowness (Y-Z) and brightness (Y) measured in midside wool from four samplings performed in both experimental stations.

	Wool samplings			
	Summer	Autumn	Winter	Spring
Y-Z				
Mean	1.64	1.52	0.87	1.77
s.d.	1.59	2.02	1.57	1.77
Min	-1.50	-1.92	-1.96	-1.56
Max	16.05	10.66	10.12	11.32
Y				
Mean	64.83	65.96	66.10	63.58
s.d.	2.96	2.33	2.79	3.63
Min	45.08	54.69	32.99	48.17
Max	72.46	73.47	72.48	72.12
n	1230	1225	1183	1193

them showed values below 2.54 units of Y-Z. Wool brightness registered a mean value of 63.58 in the last sampling, while 50 % of values were below 64.25 units.

When average yellowness of each sampling was considered separately by experimental station and year (24 average values), samplings with negative values of up to -0.57 to values of 3.11 Y-Z units were obtained, presenting a high standard deviation (Fig. 1). The lowest values of scoured colour were obtained in samples collected during the winter. In addition, the lowest colour values of the three years evaluated were recorded the second year at both experimental stations.

The T-test showed that wool yellowness in the back area was significantly higher than that obtained in mid-side ($P < 0.001$) in the summer sampling (2.19 ± 1.35 vs. 1.64 ± 1.59 , respectively) and in the winter sampling (1.08 ± 1.42 vs. 0.87 ± 1.57 , respectively). Otherwise, significant differences in brightness between both areas in all samplings were found ($P < 0.001$), presenting higher mid-side values than the back area, except in the last sampling.

3.2. Climatic effects

A description of Tmax, RH and accumulated precipitation between samplings, by year and experimental station is shown in Table 3.

According to linear regression coefficients of meteorological variables on colour traits (yellowness and brightness), Tmax presented a significant and unfavourable association with yellowing from mid-side and back area ($P < 0.01$) (Table 4). The highest coefficients were obtained in the autumn sampling in both areas. R showed unfavourable associations with yellowing in the summer and autumn samplings, while the coefficients were negative and significant in the winter and spring samplings. Unfavourable associations were found with relative humidity in summer and winter, while they were favourable in autumn and spring in both sampling sites. For brightness, unfavourable associations with Tmax were obtained for mid-side and back, except in mid-side spring sampling where a favourable and significant association was obtained. Relative to R, unfavourable associations with brightness were registered in all samplings, except in summer, neither mid-side nor back. Considering RH, most of the coefficients obtained were negative in both sampling areas.

3.3. Genetic parameters

Heritability estimates of yellowness according to the four sampling dates from mid-side and back were of intermediate magnitude (Table 5). The genetic and residual correlations between samplings were positive and low to moderate for mid-side yellowness, while for back yellowness positive and very low to moderate genetic correlations and positive and low residual correlations were obtained. Heritability estimates of brightness were of medium magnitude in both sites. Genetic correlations

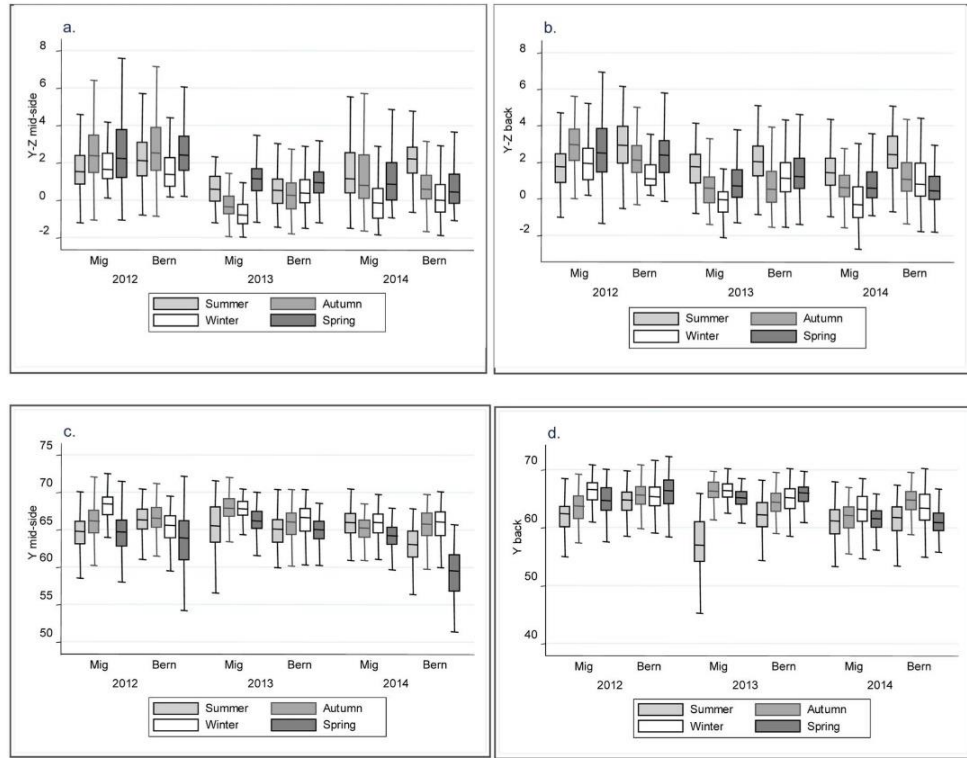


Fig. 1. Box plots of yellowness (Y-Z) on mid-side (a) and back (b), and brightness (Y) on mid-side (c) and back (d); variation within and between years and experimental stations.

Table 3

Meteorological factors that characterized each sampling period during three years and both experimental stations: accumulated rainfall, maximum temperature and relative humidity registered during the period between the corresponding sampling and the previous one.

	Sampling time									
	Summer		Autumn			Winter	Spring		Total	
	Mig	Bern	Mig	Bern	Mig	Bern	Mig	Bern	Mig	Bern
<i>Tmax</i> (°C)										
2012	28.9	30.9	23.6	22.6	15.8	18.7	16.7	20.8	21.2	23.2
2013	27.8	28.6	20.9	23.3	15.6	24.5	18.2	19.2	20.6	23.9
2014	27.3	30.2	21.2	22.6	16.9	18.5	22.0	20.9	21.8	23.0
Rainfall (mm)										
2012	217	265	188	318	349	324	124	233	878	1140
2013	108	258	391	234	307	239	257	322	1063	1053
2014	506	407	243	286	195	328	428	410	1372	1431
RH (%)										
2012	75.9	69.9	80.0	76.5	84.8	78.6	84.0	75.6	81.2	75.1
2013	71.7	70.0	78.1	76.7	76.1	79.8	74.6	75.7	75.1	75.5
2014	75.5	75.4	78.7	76.5	78.1	82.1	74.5	77.1	76.7	77.8

Tmax = maximum temperature; RH = relative humidity.

between samplings in mid-side brightness were positive and of moderate magnitude except for the spring sampling, while the residual correlations were small.

In Fig. 2, average breeding values of sires for yellowness and brightness of mid-side and back are shown, illustrating a great genetic variability. The highest estimated breeding value for mid-side yellowness was -0.77 units (sire bm39), while the lowest breeding value was 1.85 units (sire m599). The difference in breeding value between the upper and lower estimates was 2.62 Y-Z units. Some 29 % of sires were

considered to be able to improve yellowness and brightness (considering mid-side sampling). The highest estimated breeding value for back yellowness was -0.37 units (sire m624) while 11 sires out of 24 were considered to be able to improve yellowness and brightness concerning this area sampling.

4. Discussion

The objectives of this study were to estimate the effect of climatic

Table 4
Linear regression coefficient estimates for the relationship between yellowness and brightness, and climatic variables in mid-side and back areas.

	Sampling time	Tmax (°C)	P-value	R (/100 mL)	P-value	RH (%)	P-value
Y-Z midside	Summer	0.749	P < 0.01	0.313	P < 0.01	0.038	n.s.
	Autumn	2.477	P < 0.01	0.601	P < 0.01	-0.759	P < 0.01
	Winter	1.626	P < 0.01	-0.749	P < 0.01	0.114	P < 0.01
	Spring	1.257	P < 0.01	-0.419	P < 0.01	-0.054	n.s.
Y-Z back	Summer	0.356	P < 0.01	0.100	n.s.	-0.050	n.s.
	Autumn	1.563	P < 0.01	0.000	n.s.	-0.282	P < 0.01
	Winter	0.966	P < 0.01	-0.690	P < 0.01	0.171	P < 0.01
	Spring	1.200	P < 0.01	-0.477	P < 0.01	-0.012	n.s.
Y midside	Summer	0.608	P < 0.01	0.984	P < 0.01	-0.721	P < 0.01
	Autumn	0.223	n.s.	-0.158	n.s.	-0.371	P < 0.01
	Winter	0.189	n.s.	-0.702	P < 0.01	0.062	n.s.
	Spring	-0.685	P < 0.01	-0.747	P < 0.01	-0.609	P < 0.01
Y back	Summer	1.337	P < 0.01	1.344	P < 0.01	-0.196	P < 0.05
	Autumn	0.334	n.s.	-0.204	n.s.	-0.462	P < 0.01
	Winter	1.601	P < 0.01	-1.531	P < 0.01	-0.216	P < 0.01
	Spring	0.534	P < 0.01	-1.158	P < 0.01	-0.566	P < 0.01

Table 5
Posterior means and standard deviations of the genetic parameters for Y-Z and Y of mid-side and back area: heritability in each wool sampling (diagonal, bold), genetic (above diagonal) and residual (below diagonal) correlations between samplings.

Wool samplings	Wool samplings			
	Summer	Autumn	Winter	Spring
Y-Z mid-side				
Summer	0.24 (0.07)	0.33 (0.20)	0.25 (0.21)	0.22 (0.20)
Autumn	0.47 (0.08)	0.36 (0.10)	0.52 (0.18)	0.43 (0.17)
Winter	0.40 (0.08)	0.47 (0.09)	0.37 (0.09)	0.47 (0.16)
Spring	0.27 (0.07)	0.35 (0.08)	0.42 (0.07)	0.29 (0.07)
Y-Z back				
Summer	0.29 (0.09)	0.34 (0.19)	0.18 (0.24)	0.18 (0.23)
Autumn	0.20 (0.08)	0.29 (0.08)	0.47 (0.16)	0.40 (0.18)
Winter	0.10 (0.08)	0.24 (0.07)	0.28 (0.07)	0.45 (0.17)
Spring	0.11 (0.09)	0.16 (0.08)	0.20 (0.07)	0.31 (0.09)
Y mid-side				
Summer	0.34 (0.15)	0.43 (0.25)	0.52 (0.25)	-0.37 (0.33)
Autumn	0.12 (0.11)	0.25 (0.09)	0.49 (0.23)	-0.23 (0.28)
Winter	0.00 (0.13)	0.23 (0.07)	0.18 (0.08)	-0.03 (0.33)
Spring	0.29 (0.17)	0.27 (0.11)	0.23 (0.08)	0.20 (0.09)
Y back				
Summer	0.41 (0.13)	0.15 (0.24)	0.05 (0.30)	0.29 (0.28)
Autumn	0.02 (0.11)	0.24 (0.07)	0.69 (0.14)	0.60 (0.17)
Winter	0.06 (0.11)	0.18 (0.06)	0.16 (0.06)	0.56 (0.18)
Spring	-0.01 (0.12)	0.07 (0.06)	0.16 (0.05)	0.18 (0.06)

Mig = Migués experimental station; Bern = Bernardo Rosengurt experimental station.

variables on wool yellowness and brightness and to determine if wool colour was expressed in the same way along time. Very few studies so far have dealt with the climatological issue and the genetic variation of wool colour over time, hence the importance of this study, despite the limitations in data quantity and the short period time.

Average yellowness values with full staple length obtained in the mid-side sample were smaller than those reported previously by Capurro (1996) in Corriedale sheep in Uruguay (1.77 vs. 4.2 units, respectively). Benavides and Maher (2003) reported a lower yellowness (0.83) for this breed in New Zealand, with a wide variability (-1.37 and 6.66), which was lower than the obtained in the present trial (-1.56 to 11.32). Differences could be due to the greater number of animals included in the present study (or to the wide range observed in the different samplings during the year and/or the lower selection pressure on flocks contributing to this study).

The lowest colour values of the three years evaluated were recorded during the second year on both experimental stations, which may be associated with the differential climate conditions when compared to

the other years (see below). Reid (1993) reported differences in mean wool yellowness between years, presumably reflecting climatic differences. In the present experiment, the lowest values of scoured colour were obtained during winter sampling. An interaction between skin gland secretions and the atmospheric conditions to which the sheep are exposed was proposed (McManus et al., 2009). These authors reported that in Romney crossbred ewes, the percentage of grease was high in winter and early spring, while suint production was high in late summer-autumn, low in winter, and high again in spring. Suint is hygroscopic, so a high percentage maintains humidity of the fleece, which is likely to improve habitat for bacterial growth and development of fleece rot (Meritt and Watts, 1978). These results are consistent with several studies that described fleeces shorn in winter, having lower yellowness values than fleeces shorn in late spring-early summer (Reid, 1993; Sumner, 2005).

4.1. Fleece regions

Wool yellowness also varied with the site of the fleece considered (Holt et al., 1994, 1990; Sumner et al., 2003). In the present experiment, yellowness in the back site was significantly higher than that obtained in mid-side, while brightness was higher in mid-side than in back site. Measurements of the colour of scoured wool from different sites in Merino fleeces showed a deterioration of 3.2 units in brightness and 0.9 Y-Z units in yellowness for the wool grown on the back compared to that grown on the flanks (Sumner et al., 2003). The authors suggested that prolonged exposure of back wool to sunlight may influence the biochemical pathway associated with wool yellowing in greasy wool. Similar differences were obtained by Ross and Meikle (1985) in Romney sheep yellowness (2.3 and 3.5 units, mid-side and back, respectively); while yellowness values were 60.7 and 57.4, respectively. However, Benavides et al. (1994) analysed wool samples from four fleece regions of Polwarth yearling and did not find significant differences in yellowness, suint or grease percentages between sampling areas. That experiment was only carried out in a 6 month period in a season where those fleeces were not environmentally challenged. Moreover, suint increases were not expected, as samples were obtained in May – November.

4.2. Climatic effects

The key environmental factors influencing wool colour are temperature, humidity, rainfall and also UV radiation (Millington et al., 2011), but how meteorological factors act to affect wool colour remains uncertain. Therefore, this study interrogated this by seasonal measurement of wool colour and the effects of meteorological parameters. From the meteorological parameters considered, Tmax presented a significant and positive association with yellowness. Johnson (1973) reported more

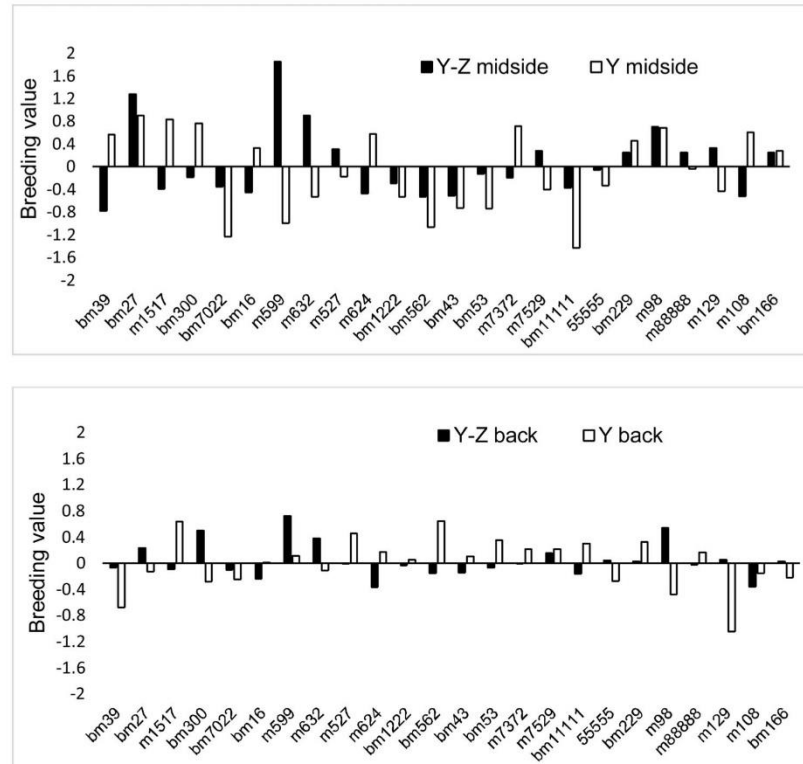


Fig. 2. Sires' breeding values for yellowness (Y-Z) and brightness (Y) measured in mid-side and back area.

frequent discharge of sweat when Welsh Mountain sheep were exposed to ambient temperature that exceeded 30 °C, although their study was not designed to test the effects of annual seasonal variation. Moreover, a significantly curvilinear response in the rate of sweat secretion with increasing Temperature Humidity Index (THI) was reported by Sumner et al. (2004) in Merino and Romney sheep. In our study, R and RH showed positive associations with yellowness in summer, and R also did it in the autumn sampling. Relative humidity and rainfall contributed to the observed variation in yellowness occurring within a flock (Sumner et al., 2004; Hoare and Stewart, 1971). If we compare the average values of yellowness recorded in summer sampling in the three years evaluated, the lowest average yellowness record was in the second year, coincidentally with the lowest rainfall. The fact that these positive associations were recorded in the summer sampling periods could probably be explained by an interaction between high temperature and R; however, this could not be determined in this experiment due to the small quantity of data available.

Raadsma (1989) suggested that wetting would be effective if the fleece had few months of wool growth, which is in agreement with the results obtained, as the staple length in these two samplings did not exceed 6 cm. Some studies reported the benefits of sheep coats on wool colour (Hatcher et al., 2008, 2003; Hatcher and Preston, 2016), which reinforce the adverse effect of meteorological parameters on yellowness. The fact that rainy summers are associated with yellow fleeces (Henderson, 1968; Reid, 1998) was supported in our results. In reference to brightness, RH and R were negatively associated, which would imply a decrease in wool brightness as R and RH increased. No information was found in the literature regarding this association. Indeed, as far as we know, this is the first study showing the effects of season and year on wool yellowness and brightness. More research is necessary to clarify the

mechanisms affecting these parameters, with special attention to their interactions. To identify the best season to measure these wool characteristics is the main interest for animal evaluation and management.

4.3. Genetic effects

While environmental effects are important in wool yellowing, there is also an underlying genetic control in the regulation of the reaction causing yellowing (Aitken and McGuirk, 1979). Heritability estimates for wool colour have been derived in several breeds, but no seasonal heritability estimates have been reported before. Considering the last sampling, heritability estimates of yellowness in mid-side and back were of intermediate magnitude (0.29 and 0.31). However, varying heritability estimates have been obtained by different authors. In Romneys, low values were reported (0.04–0.13; Wuliji et al., 2011; Hawker et al., 1988) from flocks with high average scoured wool colour (2.3–3.7 units) that were challenged by the environment. In contrast, a high heritability estimate (0.42) for clean wool colour has been reported in a South Australian Merino flock with yellowness average of 1.50 Y-Z units (James et al., 1990). In Corriedales, a heritability estimate of 0.27 was reported by Benavides and Maher (2003) in a flock that presented a low yellowness average (0.83). However, no data were available in these reports on the environmental challenge the animals were subjected during the trials. The presence of suitable conditions for non-scourable yellowing development is thus unknown.

In the present report, heritability estimates of yellowness in all samplings from mid-side and back were moderate and there was not much difference between the heritability of yellowness whether it was measured on the mid-side or the back. The genetic correlations of the first three samplings with the last one were low to moderate and also

measurements on the various sampling dates were more dissimilar when they were further apart. However, wool colour at different seasons of the year seems to be governed by different genes, and these samplings before shearing do not appear to be good predictors of wool colour at harvest. So, it does not seem reasonable to measure colour at other times prior to first fleece shearing for earlier selection.

Due to the small number of animals, uncertainty in these parameters is important, so they must be regarded as initial estimates. Studies should be performed to clarify this.

In contrast, the heritability estimates for brightness seemed to decrease from the first to the last sampling on either the back or mid-side and was highly variable between sampling dates. Brightness heritability estimates were of medium magnitude in the last sampling and in accordance with Hatcher et al. (2010), who estimated a heritability value of 0.20 for yearling Merino animals. The breeding values obtained in this experiment for yellowness and brightness indicated the possibility to identify genetically superior animals for these traits, for use in selection plans.

5. Conclusions

The study has demonstrated the effects of the meteorological factors on wool scoured colour. Heritability estimation of yellowness and brightness and the genetic associations among seasonal samplings suggest that they probably would not be the same trait over time. Further investigation should be conducted to study the possible interactions among climatic variables, as well as seasonal variation in yellowness and brightness. Moreover, genetic correlations with other economically important traits should be determined to identify the best sampling season to select for animals with enhanced colour traits.

Declaration of Competing Interest

The authors report no declarations of interest.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support given to this project by Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) and our technical and non technical experimental stations staff. Thanks to Dr. Ana Meikle for her collaboration in the writing of this article.

References

- Aitken, F., McGuirk, B.J., 1979. Selection of Merino sheep for resistance to fleece rot and body strike. *Wool Tech. Sheep Breed.* 27, 15–19.
- Aitken, F., Cottle, D., Reid, T., Wilkinson, B., 1994. Mineral and amino acid composition of wool from New Zealand Merino sheep differing in susceptibility to yellowing. *Aust. J. Agric. Res.* 45, 391–401.
- Benavides, M., Maher, A., 2002. Indirect selection criteria against clean wool colour in Corriedale sheep and their effects on wool production traits. *Genet. Mol. Biol.* 25, 139–145.
- Benavides, M., Maher, A., 2003. Genetic parameters of wool colour and skin traits in Corriedale sheep. *Genet. Mol. Biol.* 26, 267–274.
- Benavides, M., Klein, W., Pires, P.R., 1994. Environmental modifications on yolk characteristics and scoured wool colour among fleece regions. *Cienc. Rural* 24 (1), 167–172.
- Benavides, M., Damak, S., Maher, A., 2000. A putative resistant DNA marker for wool yellowing susceptibility in sheep. *Genet. Mol. Biol.* 23, 341–346.
- Burrell, D., Merritt, G., Watts, J., Walker, K., 1982. The role of *Pseudomonas aeruginosa* in pathogenesis of fleece rot and the effect of immunisation. *Aust. Vet. J.* 58, 34–35.
- Capurro, G., 1996. Caracterización de la lana producida por la raza Corriedale en Uruguay. *Lana Noticias* 116, 22–26.
- Cardellino, R., Rovira, J., 1989. Heredabilidad. In: Cardellino, R., Rovira, J. (Eds.), *Mejoramiento genético animal. Hemisferio Sur*, Montevideo, Uruguay, pp. 111–151.
- Cottle, D.J., Baxter, B.P., 2015. Wool metrology research and development to date. *Text. Prog.* 47 (3), 163–315.
- Dyer, J., Bringans, S., Aitken, G., Joyce, N., Bryson, W., 2007. Extraction and characterization of non-scourable chromophores from discoloured fleece wool. *Color. Technol.* 123, 54–58.

- Hatcher, S., Preston, J.W.V., 2016. Effect of fitting sheep covers and injection of a mineral supplement on the brightness, clean colour and photostability of wool grown by grazing Merino sheep. *Anim. Prod. Sci.* 56, 18–23.
- Hatcher, S., Atkins, K.D., Thornberry, K.J., 2003. Sheep coats can economically improve the style of western fine wools. *Aust. J. Exp. Agric.* 43, 53–59.
- Hatcher, S., Atkins, K.D., Thornberry, K.J., 2008. Strategic use of sheep coats can improve your economic return. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 762–767.
- Hatcher, S., Hynd, P.I., Thornberry, K.J., Gabb, S., 2010. Can we breed Merino sheep with softer, whiter, more photostable wool? *Anim. Prod. Sci.* 50, 1089–1097.
- Hawker, H., Dodds, K.G., Andrews, R.N., McEwan, J.C., 1988. Production and characteristics of wool from the hogget progeny of sheep intensively screened for fleece weight. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 48, 207–212.
- Hay, J.B., Mills, S.C., 1982. Chemical changes in the wool wax of adult Merino sheep during prolonged wetting and prior to development of fleece rot. *Aust. J. Agric. Res.* 33, 335–346.
- Henderson, A., 1968. In: Reed, A.W. (Ed.), *Yellow Discolourations. Growing Better Wool*, Wellington-Auckland-Sydney, pp. 55–62.
- Hoare, J.L., Stewart, R.G., 1971. Some aspects of suint composition and yellow discoloration in New Zealand wools. *J. Text. I.* 62, 455–464.
- Holt, L.A., Jones, L.N., Stapleton, I.W., 1990. Interactions between wool weathering and dyeing. *Proceeding of the 8th International Wool Textile Research Conference* 4, 117–126.
- Holt, L.A., Lax, J., Moll, L., 1994. The effect of weathering and weathering control measures on the colour of scoured wool. *Wool Tech. Sheep Breed.* 42, 151–159.
- International Wool Textile Organisation, 2010a. Method for the Measurement of Colour of Raw Wool IWTO-56. International Wool Textile Organisation, Brussels, Belgium.
- International Wool Textile Organisation, 2010b. Determination of Staple Length and Staple Strength IWTO-30. International Wool Textile Organisation, Brussels, Belgium.
- INUMET, 2020. Características climáticas de Uruguay (Accessed 11 November 2020). <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>.
- James, P.J., Ponzoni, R.W., Walkley, J.R.W., Whiteley, K.J., 1990. Genetic parameters for wool production and quality traits in South Australian Merinos of the Collinsville family group. *Aust. J. Agric. Res.* 41, 583–594.
- Johnson, K.G., 1973. Sweat storage as a factor influencing sweat discharge in sheep. *J. Physiol.* 235, 523–534.
- McManus, C.M., Paludo, G.R., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B., Paiva, S.R., 2009. Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. *Trop. Anim. Health Prod.* 41, 95–101.
- Merritt, G., Watts, J., 1978. The changes in protein concentration and bacteria of fleece and skin during the development of fleece-rot and body strike in sheep. *Aust. Vet. J.* 54, 517–520.
- Millington, K.R., King, A.L., Hatcher, S., Drum, C., 2011. Whiter wool from fleece to fabric. *Color. Technol.* 127, 297–303.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T., Lee, D.H., 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). In: *Proceedings 7th World Congress Genetic Applied Livestock Production*. (Montpellier, France), pp. 2.
- R Development Core Team, 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. URL: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Raadsma, H., 1989. Fleece rot and body strike in Merino sheep. III. Significance of fleece moisture following experimental induction of fleece rot. *Aust. J. Agric. Res.* 40, 897–912.
- Raadsma, H., Gilmour, A., Paxton, W., 1989. Fleece rot and body strike in Merino sheep. I. Evaluation of liability to fleece rot and body strike under experimental conditions. *Aust. J. Agric. Res.* 40, 207–220.
- Reid, T., 1993. Variability in the susceptibility of wool to yellowing. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 53, 315–318.
- Reid, T., 1998. Wool yellowing. *Wool Tech. Sheep Breed.* 46, 318–337.
- Reid, T., Botica, K.J., 1995. Relationship between Wool colour and fibre diameter in four breeds of Sheep. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 55, 50–53.
- Ross, D.A., Meikle, H.E., 1985. The processing significance of variations in staple strength within and between fleeces. In: *Proceeding 7th International Wool Textile Research Conference*. (Tokyo), pp. 45–54.
- Sánchez, A.L., Urioste, J.L., Peñagaricano, F., Neimaur, K., Sienra, I., Naya, H., Kremer, R., 2016. Genetic parameters of objectionable fibers and of their associations with fleece traits in Corriedale sheep. *J. Anim. Sci.* 94, 13–20.
- Sumner, R., 2005. Relationship of mean fibre diameter and time of shearing with wool yellowing in Merino sheep farmed under North Island conditions. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 65, 191–196.
- Sumner, R., Young, S., Upsdell, M., 2003. Wool yellowing and pH within Merino and Romney fleeces. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 63, 155–159.
- Sumner, R., Ashby, M., Craven, A., 2004. Relation between sweating and wool yellowing in Merino and Romney sheep. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 64, 286–292.
- Watts, J., Nay, T., Merritt, G., Coy, J., Griffiths, D., Dennis, J., 1980. The significance of certain skin characters of Sheep in resistance and susceptibility to fleece rot and body strike. *Aust. Vet. J.* 56, 57–63.
- Wood, J., Reid, T., Munro, M., Sherlock, R., McLaughlin, J., 1997. Relationships between the compounds causing scourable diffuse yellow and yellowness of greasy and clean wool. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 57, 70–72.
- Wuliji, T., Dodds, K.G., Andrews, R.N., Turner, P.R., 2011. Selection response to fleece weight, wool characteristics, and heritability estimates in yearling Romney sheep. *Livest. Sci.* 135, 26–31.

11.3. Artículo III

Small Ruminant Research

Opportunities of selection for better wool scoured colour: heritability, genetic and phenotypic correlations with fifteen wool traits in Corriedale sheep --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Section/Category:	Genetics and Breeding
Keywords:	wool yellowing; wool quality traits; heritability; genetic correlations
Corresponding Author:	Karina Neimaur, MSc, Dr. Veterinary Faculty, UDELAR Montevideo, URUGUAY
First Author:	Karina Neimaur, MSc, Dr.
Order of Authors:	Karina Neimaur, MSc, Dr. R Kremer H Naya I Siena JI Urioste
Abstract:	<p>Scoured wool colour determines the potential colour range and dye-ability of wool tops. Improvement of scoured wool colour in Corriedale through selective breeding is currently unclear due to limited existing information on its heritability and genetic correlations with other fleece traits. The present study aimed to determine genetic parameters of scoured colour traits, with emphasis on their genetic and phenotypic correlations with objective and subjective fleece traits. Data from 1181 hoggets of two experimental flocks were used. Heritability of Y-Z and Y, greasy (GFW) and clean (CFW) fleece weight, wool yield (WY), mean fibre diameter (MFD), coefficient of variation of fibre diameter (CVD), % fibres > 30μ (%F>30μ), staple length (SL) and strength (SS) and of visual wool traits (greasy wool colour, wool character, handle, staple formation, dust penetration and cross-linking) were estimated. In addition, genetic and phenotypic correlations between Y-Z and Y with the 15 mentioned traits were estimated. Trivariate statistical models were used, including the environmental effects of flock, sex, litter size and climatic variables (accumulated precipitation, maximum temperature and relative humidity) and the animal genetic effect, under a Bayesian setting.</p> <p>Our research clearly showed that Y-Z was reasonably heritable (0.22) and should respond to selection. Its genetic correlations with GFW, CFW and SL were significant, positive (unfavourable) and intermediate in magnitude (0.43, 0.56, and 0.44, respectively). This study also suggests a positive (favourable) association between MFD and Y-Z, but with great uncertainty, given the limited experimental data (0.25\pm0.17). The genetic correlation between Y-Z and greasy wool colour was significant, positive, and of high magnitude (0.70), although this trait showed a low heritability value (0.13). Wool brightness showed low heritability (0.10) and only appeared to be genetically correlated with SL and wool character (0.56 and 0.39, respectively).</p> <p>Phenotypic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits were very low to low in magnitude (-0.17- 0.20).</p> <p>Overall, this study reports new genetic parameters for wool colour and their associations with fleece traits in Corriedale sheep. Our findings suggest that it could be possible to select against wool yellowness, with some caution, given the possible detrimental effects on economically important wool traits, especially fleece weight and staple length. More investigation should be carried out on this fact. Indirect selection via greasy wool colour is an alternative approach when lab resources are not immediately available.</p>

Opportunities of selection for better wool scoured colour: heritability, genetic and phenotypic correlations with fifteen wool traits in Corriedale sheep

Neimaur K^{a,*}, Kremer R^a, Naya H^{bc}, Sienna I^a, Urioste JI^b

^aUnidad académica Ovinos, Lanas y Caprinos, Departamento de Producción Animal y Salud de los Sistemas Productivos, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Ruta 1, km 42,5- Libertad, San José, Uruguay

^bDepartamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Av. Garzón 780, Montevideo, Uruguay

^cUnidad de Bioinformática, Institut Pasteur de Montevideo, Mataojo 2020, Montevideo, Uruguay

*Corresponding author. E-mail address: kneimaur@hotmail.com

Keywords: wool yellowing, wool quality traits, heritability, genetic correlations

Abstract

Scoured wool colour determines the potential colour range and dye-ability of wool tops. Improvement of scoured wool colour in Corriedale through selective breeding is currently unclear due to limited existing information on its heritability and genetic correlations with other fleece traits. The present study aimed to determine genetic parameters of scoured colour traits, with emphasis on their genetic and phenotypic correlations with objective and subjective fleece traits. Data from 1181 hoggets of two experimental flocks were used. Heritability of Y-Z and Y, greasy (GFW) and clean (CFW) fleece weight, wool yield (WY), mean fibre diameter (MFD), coefficient of variation of fibre diameter (CVD), % fibres > 30 μ (%F>30 μ), staple length (SL) and strength (SS) and of visual wool traits (greasy wool colour, wool character, handle,

staple formation, dust penetration and cross-linking) were estimated. In addition, genetic and phenotypic correlations between Y-Z and Y with the 15 mentioned traits were estimated. Trivariate statistical models were used, including the environmental effects of flock, sex, litter size and climatic variables (accumulated precipitation, maximum temperature and relative humidity) and the animal genetic effect, under a Bayesian setting.

Our research clearly showed that Y-Z was reasonably heritable (0.22) and should respond to selection. Its genetic correlations with GFW, CFW and SL were significant, positive (unfavourable) and intermediate in magnitude (0.43, 0.56, and 0.44, respectively). This study also suggests a positive (favourable) association between MFD and Y-Z, but with great uncertainty, given the limited experimental data (0.25 ± 0.17).

The genetic correlation between Y-Z and greasy wool colour was significant, positive, and of high magnitude (0.70), although this trait showed a low heritability value (0.13). Wool brightness showed low heritability (0.10) and only appeared to be genetically correlated with SL and wool character (0.56 and 0.39, respectively).

Phenotypic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits were very low to low in magnitude (-0.17- 0.20).

Overall, this study reports new genetic parameters for wool colour and their associations with fleece traits in Corriedale sheep. Our findings suggest that it could be possible to select against wool yellowness, with some caution, given the possible detrimental effects on economically important wool traits, especially fleece weight and staple length. More investigation should be carried out on this fact. Indirect selection via greasy wool colour is an alternative approach when lab resources are not immediately available.

1. Introduction

Wool colour is an important trait that determines its quality and value; hence, the presence of significant non-scourable discolouration severely limits the industry's versatility in the dyeing process (Benavides et al., 2000, Dyer et al., 2007). This trait can be objectively measured in scoured wool, and the result is expressed as yellowness (Y-Z) and brightness (Y) (Wood, 2002). Studies on wool colour genetics have found that direct selection of sheep for whiter wool is possible (Millington, 2008).

International literature reported Y-Z heritability estimates from 0.04 to 0.42 in Merino and Romney sheep (Hawker et al. 1988; James et al., 1990; Smith and Purvis, 2009; Wuliji et al., 2001). In the Corriedale breed, information is almost non-existent; a moderate heritability estimate for Y-Z (0.27 ± 0.13) was reported in a New Zealand flock (Benavides and Maher, 2002), but there are no reported estimates for Y. Seasonal heritability estimates from 0.24 to 0.37 for Y-Z were described by our group in previous research (Neimaur et al., 2021). Wool colour is a very laborious and expensive trait to measure under extensive conditions, so finding a suitable indirect selection criterion may be a better approach to selection in favour of whiter wool (Benavides and Maher, 2002). Greasy wool colour (GWC) has been extensively investigated in Merino as a potential selection criterion against yellowness, but not in Corriedale. Australian wool is mainly traded in its greasy state (Cottle and Baxter, 2015), and in sheep selection, this trait is the most used. The heritability of GWC was informed to be of medium magnitude (James et al., 1990; Mortimer et al., 2009; Brown, 2006). However, the relationship between Y-Z and GWC is not clear, with the most recent estimations indicating a poor genetic correlation between these two traits (Smith and Purvis, 2009). Fleece weight is, together with the fibre diameter, a critical economic fleece trait. Genetic correlations estimated between greasy fleece weight (GFW) and Y-Z are variable. Low to high magnitude correlations were determined in the Merino breed

(0.12 to 0.67; James et al., 1990; Hebart and Brien, 2009; Smith and Purvis, 2009) while moderate (0.44) in Corriedale (Benavides and Maher, 2002). This unfavourable association would indicate that their progeny is likely to have higher wool Y-Z values when selecting animals for heavier fleeces. On the other hand, there is evidence that fibre diameter presented a positive and high genetic correlation with Y-Z in the Merino breed (Hebart and Brien, 2009; Smith and Purvis, 2009), indicating that sheep with lower fibre diameter would present whiter wool. In this breed, significant genetic correlations between visual wool traits, wool handle and dust penetration, and yellowness have also been reported (Hebart and Brien, 2009), as well as very low to low in magnitude genetic correlations with staple length and staple strength (0.37 and 0.18, respectively, Wuliji et al, 2001).

Further improvement of wool colour would be desirable in Corriedale wool. Presently, genetic evaluation schemes for this breed in Uruguay do not consider wool yellowness and brightness traits in the selection candidates. As mentioned earlier, the information needed to establish a breeding plan in Corriedale to improve wool colour, i.e. additive genetic variability and genetic correlations with other wool traits, is scarce. Hence, the objective of the current experiment was to determine genetic parameters of scoured colour traits, with emphasis on their genetic and phenotypic correlations with objective and subjectively fleece traits.

2. Material and Methods

2.1. Experimental location and animal management

The experiment was carried out in two Corriedale flocks at the Migue's Experimental Station from Facultad de Veterinaria (34.22° S, 55.36° W) and Bernardo Rosengurtt Experimental Station from Facultad de Agronomía (32.35° S, 54.15° W) in Uruguay. The experimental procedures were approved by the Animal Ethics Committee of the

Facultad de Veterinaria-Universidad de la República (CEUAFVET-PI-15/14, 22/5/2014).

The experiment was conducted for three consecutive years. Both flocks were under an experimental design consisting of paternal half-sib families and genetically connected by sharing rams that had offspring in the two flocks for more than one year. A total of 1181 hoggets born to 23 Corriedale sires were used with an average progeny group size of 41 offspring; a more detailed description is provided in a previous report (Neimaur et al., 2021).

2.2. Wool sampling and measurements

At shearing, greasy fleece weight (GFW; kg) was registered, and a wool sample was extracted from the mid-side (100 g). The following wool analyses were performed: yellowness (Y-Z) and brightness (Y) measured using a HunterLab Miniscan XE colourimeter (IWTO 2010a), mean fibre diameter (MFD; μ), coefficient of variation of fibre diameter (CVD; %) and % fibres $> 30\mu$ (%F $>30\mu$) measured using Sirolan Laserscan method (IWTO 2010c). Wool yield (WY; %) was determined by scouring a 100 g sample, clean fleece weight (CFW; kg) calculated by multiplying greasy fleece weight by yield/100, staple strength (SS; N/ktex) using the Staplebreaker (IWTO 2010b) and staple length (SL; cm) measured in five raw wool samples by a ruler (IWTO 2010b). In total, nine fleece traits were considered.

Six visual wool traits were subjectively assessed one month before shearing. GWC was evaluated using scores (1-5; 1 for white wool; 5 for yellow wool; AWI, 2013).

Wool character (CH), handle (HA), staple formation (SF), dust penetration (DP) and cross-linking (CL) were assessed using a 1 to 5 scale (AWI, 2013; Crook, 1989).

2.3. Statistical analysis

Means and standard deviation of objectively measured wool traits (GFW, CFW, WY, MFD, CFD, %F>30 μ , SL, and SS), and visual wool traits (GWC, CH, HA, SF, CL, and DP) were determined.

Statistical model selection has been presented in detail in Neimaur et al. (2021). Shortly, the fixed effects of flock, sex, litter size and climatic variables (accumulated precipitation, maximum temperature and relative humidity) were included as environmental effects. Random effects of genetic additive values were included with distribution $N(0, G_0 \otimes A)$, where G_0 is a matrix of additive genetic (co) variances between traits, and A is the matrix of relationships between the animals in the pedigree. One of the central issues is the estimation of the correlations of the objective colour traits (Y-Z and Y) with all other 15 traits (GFW, CFW, WY, MFD, SL, SS, CFD, %F>30 μ , GWC, CA, HA, SF, DP, CL). For this purpose, a trivariate genetic analysis was run. Both objective wool colour traits (Y-Z and Y) were always present, and the remaining traits were entering one by one into the analysis.

The Thrgibbs1f90 program (Misztal et al., 2002) was used for estimating variance and covariance components, from which genetic parameters (heritabilities, genetic and phenotypic correlations) were derived. A chain of 1.000,000 iterations was used, with a burn-in of 200,000 rounds and a thinning interval of 400 samples. The convergence of each chain was evaluated using Geweke's criterion (Geweke, 1992).

To describe genetic parameters, the following classification range was used for heritability: low (<0.15), medium (0.15-0.40), high (0.40-0.60), and very high (>0.60), while for correlations (absolute value): very low (<0.20), low (0.2-0.4), medium (0.4-0.6), high (0.6-0.8), and very high (>0.8) (Cardellino and Rovira, 1987). Estimates were considered significant when the 5%-95% interval did not contain the value zero.

3. Results

3.1. Heritability of wool traits

Overall means (\pm posterior standard deviation) and heritability estimates of wool scoured colour and wool production and quality traits are reported in Table 1. Heritabilities of Y-Z and Y were of medium and low magnitude (0.22 and 0.10, respectively). CFW, WY, CVD, SL and SS presented medium magnitude heritabilities. Conversely, GFW and MFD presented high heritability estimates, and the %F>30 μ was a very high. Medium magnitude heritability estimates were obtained for visual wool traits (0.19-0.35), except for GWC and CL, which presented a low magnitude (0.13 and 0.14, respectively).

Insert Table 1 here

3.2. Genetic and phenotypic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits objectively measured

The genetic correlation of Y-Z and Y found was not different from zero (-0.31 ± 0.22). The phenotypic correlation between both traits was significant but of very low magnitude (0.15 ± 0.03).

Genetic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits objectively measured are presented in Table 2. Genetic correlations of Y-Z with GFW, CFW and SL were significant, positive and intermediate in magnitude (0.43, 0.56, and 0.44, respectively), whereas the association with WY was significant, positive and high (0.61). The genetic correlation between Y-Z and MFD was of a non-significant low magnitude (0.25 ± 0.17); correlations with SS, CVD and % F>30 μ were very low and not significantly different from zero. The genetic correlation of Y with SL was significant and medium in magnitude (0.56). In contrast, correlations with WY, GFW, CFW, MFD, CVD, % F>30 μ and SS were of very low to low magnitude (0.01 to -0.30) and not significantly different from zero.

Phenotypic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits were significantly different from zero but very low in magnitude (-0.17- 0.19) except for Y-Z's association with CFW, which was of low magnitude (0.20).

Insert Table 2 here

3.3. Genetic and phenotypic correlations of Y-Z and Y with visual wool traits

Genetic and phenotypic correlations of Y-Z and Y with visual wool traits are shown in Table 3. The strongest genetic correlation found was that between Y-Z and GWC, which was significant, positive and of high magnitude (0.70). On the other hand, the genetic correlations of Y-Z with the other visual wool traits were not significantly different from zero (-0.01-0.32).

Y showed a positive, low- magnitude and significantly different from zero genetic correlation with CH (0.39). However, the associations with the other visual wool traits were low to very low and not significantly different from zero.

Phenotypic correlations of Y-Z and Y with visual wool traits were very low in magnitude (-0.11- 0.19), except for the association of Y-Z and GWC that was low (0.30).

Insert Table 3 here

4. Discussion

Genetic parameters associating wool scoured colour with fleece traits are essential for a genetic improvement plan in the Corriedale breed. This study is part of a more extensive investigation. The first results and the present research aimed to determine if Y-Z and Y, and economically relevant fleece traits were genetically and phenotypically associated. Moreover, no estimations regarding visual wool traits were previously reported for this breed, which may be of scientific and practical importance, especially the association with GWC, as a possible indicator trait, is particularly relevant.

Collecting this type of information under extensive field conditions is costly and cumbersome, which explains why scientific information on these traits is scarce. The limited number of records for wool colour parameters measured under experimental conditions reduces the accuracy of inferences on genetic parameters, especially genetic correlations. However, the designed paternal half-sib family structure may reduce estimation bias and the Bayesian approach used in the present study properly helps to quantify the levels of uncertainty. Given the scarcity of information, this study under controlled conditions in two experimental flocks provides a good insight on the relationships between scoured colour and fleece traits.

4.1. Heritability of wool production and quality traits

Our research clearly shows that Y-Z is reasonably heritable (0.22) and should respond to selection. This moderate estimate was consistent with that reported in a Corriedale flock in New Zealand (0.27) by Benavides and Maher (2003), considering that this flock presented a lower average yellowness (0.83 Y-Z units) than the obtained in the present experiment (1.46 Y-Z units). Conversely, it was higher than the estimates reported in Romney flocks (0.04- 0.13; Bigham et al., 1983; Hawker et al., 1988), which presented higher average yellowness values (2.3 to 3.5 Y-Z units). Higher estimates have been described in Australian Merino flocks (0.40-0.42; James et al., 1990; Hatcher and Preston, 2016). For brightness, the heritability estimated (0.10) was lower than that informed in yearling Merino (0.19) by Mortimer et al. (2017). There is no similar data reported in Corriedale in the literature. Thus, brightness appears less heritable than Y-Z, both in our study and in the other cited research.

For objectively measured fleece traits, in general, our heritability estimates agreed with those reported in this breed in Uruguay (Sanchez et al., 2016), and in Australian and

New Zealand flocks (Brash et al., 1994; Benavides and Maher, 2002), and also with those reported by Safari et al. (2005) for wool breeds.

To our knowledge, no genetic parameters have been previously informed in the Corriedale breed for visual wool traits, except for GWC. This trait showed a low heritability value (0.13), which was lower than the obtained in this breed in New Zealand (0.44) by Benavides and Maher (2002). In Merinos, variable heritability estimates were reported by several authors (0.33- 0.63; Mortimer et al., 2009; Smith and Purvis, 2009; Hebart and Brien, 2009; James et al., 1990). This wide range of estimates could probably be due to the different environmental conditions acting on each flock. It has been demonstrated that meteorological factors, especially rainfall, temperature, and humidity, impact wool colour (Neimaur et al., 2021).

Our results showed medium magnitude heritability estimates for CH, HA, SF and DP (0.19- 0.35), while low in magnitude for CL (0.14). We are not aware of estimations for the Corriedale breed; international references mostly referred to the Merino breed and reported higher heritability estimates than the obtained in the present experiment for wool CA and HA (0.33–0.34; James et al., 1983; Mortimer, 2007, 2009).

The results provide strong evidence that heritabilities for Y-Z and other wool traits are consistent with other Corriedale populations but not necessarily with other Australian Merino populations. In addition, heritabilities of the visual wool traits have not been previously reported in Corriedale, except for GWC, so they are valuable to breeders and researchers in this area. GWC and visual wool traits presented low and medium magnitude heritabilities, respectively. The present study suggests that selection by lower Y-Z could be effective because it is reasonably heritable. On the other hand, Y appears to be less heritable than Y-Z.

4.2. Genetic and phenotypic correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits objectively measured

The medium and unfavourable genetic correlation of Y-Z with fleece weights (0.43 and 0.56, for GFW and CFW, respectively) suggest that genetic selection for increased fleece weight would result in a higher Y-Z value and worse colour. A similar result was reported in this breed (0.44) by Benavides and Maher (2002) for GFW, although the estimation for CFW was higher (0.91). Conversely, lower genetic associations were informed in Merino sheep (0.27 and -0.09, for GFW and CFW, respectively) by Raadsma and Wilkinson (1990) and for CFW (0.08) in ultrafine Merino sheep by Wuliji et al. (2001).

Considering wool yield, its positive genetic correlation with Y-Z (0.61 ± 0.15) was higher but not significantly different from that reported by Benavides and Maher (2000) for this breed (0.36 ± 0.25) since the uncertainty in both estimations was great. This result suggests that if sheep are selected for higher wool yield, their progeny fleeces would probably present a higher Y-Z value. Although lower in magnitude (0.02 to 0.35), this unfavourable genetic correlation was also reported in Merino sheep by other authors (Smith and Purvis, 2009; Hebart and Brien, 2009; Wuliji et al., 2001).

According to Hay and Mills (1982), the lower wool yield of resistant fleeces to yellowing could be due to their higher wax content, which protects the growing wool fibres from the effect of the sweat gland secretions (Summer and Craven, 2005). In contrast, negative genetic associations between both traits were estimated in Romney ewes (-0.55; Bigham et al., 1983). These results are consistent with those of Lipson et al. (1982) and Mortimer et al. (2009); they reported that fleeces resistant to discolouration showed a lower level of suint, and consequently, tended to be of higher wool yield. Furthermore, they showed that wax/suint ratio, but not wax content, was

associated with yellow discolouration, with resistant fleeces having higher wax/suint ratios. Therefore, a more detailed study of the association of these characteristics should be of interest to clarify these results.

Y-Z presented a positive but non-significant genetic correlation with MFD (0.25), which was lower than the only estimation reported for this breed (0.93) by Benavides and Maher (2002). In fine wool Merino, the genetic correlation reported in the literature was diverse, although positive, ranging from 0.16 (James et al., 1990) to 0.57 (Hebart and Brien, 2009). Millington et al. (2008) suggested that surface area and optical differences between fine and coarse fibres influenced scoured wool colour. When light is incident on wool fibres, part is reflected, another is absorbed, and wool fibres transmit the third part in different proportions. Finer fibres have a greater surface area to mass ratio, a smooth surface and a more regular cross-sectional shape. As a result, there is a high reflection of light from the outer surface of the fibre, giving rise to a lighter, softer, reflective sheen than coarser fibres (Cottle and Baxter, 2015). Overall, given that MFD is the significant determinant of a wool sale lot price and that in the Corriedale breed, its range is wide (from 25 to 32 μ ; Abella et al., 2010), further studies should be conducted to explain these results. In addition, the genetic association of Y-Z and MFD in medium wool may be different from finer or coarser wool. Concerning CVD, a non-significant and very low genetic association with Y-Z (-0.09) was obtained, in agreement with the results described by Wuliji et al. (2001) in ultrafine Merino sheep (-0.04). However, James et al. (1990) reported, also in Merino, higher, but still low, correlations (-0.34). % F>30 μ showed a non-significant and positive genetic correlation with Y-Z (0.19); we are not aware of reports about this association in the literature.

Staple length was genetically correlated with Y-Z (0.44 ± 0.17), indicating an unfavourable association; thus, selecting for longer wools will increase Y-Z. However,

this estimation was lower than those estimated in Merino (0.05; Wuliji et al., 2001; Hebart and Brien, 2009).

Considering staple strength, the non-significant and low genetic association with Y-Z estimated was lower than that reported by Hebart and Brien in Merino (0.21; 2009).

In summary, selecting ewes based on increased GFW, WY or SL should be detrimental to Y-Z of their progeny. Our results agreed with the only one reported in the Corriedale breed; further studies should be undertaken to confirm these results. Although the genetic association with MFD was favourable (economically desirable direction), it was non-significant and lower than the only estimation reported for this breed.

With respect to brightness, the only significant genetic correlation found in the present study was that with SL, which was of medium magnitude (0.56). It should be underlined that there were no estimations of genetic correlations for brightness in the literature, except the one reported in ultrafine Merino by Wuliji et al. (2001). These authors informed very low to low genetic correlations with MFD, CFW and SL (0.13-0.21), while a high magnitude estimation for the association with SS (0.63).

The phenotypic correlations between Y-Z and wool production and quality traits objectively measured were lower than the genetic ones. The phenotypic associations with MFD (0.09) and CVD (0.03) obtained were similar to those reported by James et al. (1990) in Merinos. However, Hebart and Brien (2009) and Smith and Purvis (2009) estimated a higher value for the association of Y-Z with MFD (0.24- 0.32) but similar for CVD. On the other hand, the phenotypic correlations of Y-Z with SL and SS were very low and close to zero, which was consistent with the estimations reported by Hebart and Brien (2009) and Smith and Purvis (2009) in Merino and those reported by Biggam et al. (1983) in Coopworth and Romney ewes. However, a higher magnitude

phenotypic association between Y-Z and SL (0.37) was obtained by Wuliji et al. (2001) in ultrafine Merino.

Considering brightness, phenotypic correlations with objectively measured wool traits were very low in magnitude, in accordance with the estimations reported by Wuliji et al. (0.04-0.13; 2001).

In brief, the very low phenotypic correlations between Y-Z and wool production and quality traits objectively measured show no visible associations at the time of shearing that would help taking phenotypic selection decisions in the right direction.

4.3. Genetic and phenotypic correlations between Y-Z and Y, and visual wool traits

Y-Z presented a favourable and of high magnitude genetic correlation with GWC (0.70), which was higher than the estimate reported in Corriedale (0.40) by Benavides and Maher (2002). Genetic correlations described in the literature were diverse in the Merino breed, from lower values (0.13 and 0.18 in yearling and adult sheep, respectively; Smith and Purvis, 2009) to higher estimates (0.87; James et al., 1990). Considering CH, a significant genetic correlation with Y-Z was obtained (-0.32). This unfavourable association indicates that selection for better CH would increase yellowness (worse colour); no data describing these genetic associations in the Corriedale breed is available in the literature. The other visual wool traits (HA, SF, DP and CL) presented non-significant and very low magnitude genetic correlations with Y-Z. However, higher values for HA (-0.31) and DP (0.35) were reported by Hebart and Brien (2009) in Merino hoggets.

Considering brightness, no estimation of genetic correlations with visual wool traits were reported in the literature for Corriedale. In the present study, only a significant although unfavourable association with CH (0.39) was estimated.

Phenotypic correlations between Y-Z and visual wool traits were low to very low in magnitude, although significant, which agreed with the estimates reported in Merino by Mortimer et al. (2009) and Hebart and Brien (2009). In conclusion, the high genetic correlation obtained in this experiment between Y-Z and GWC underlines the potential for improvement wool yellowness through indirect selection, despite the low heritability of GWC. This positive association agreed with the one reported in this breed.

Furthermore, it highlighted GWC as a helpful trait that is quick and easy to evaluate and within the scope of the farmer.

Conclusions

We presented new knowledge on heritability, and genetic and phenotypic parameters regarding wool scoured colour and 15 different fleece traits in Corriedale sheep. The current study indicates that Y-Z is reasonably heritable, so it should be used to improve wool scoured colour in Corriedale whenever possible. However, under extensive production conditions, as in Uruguay, the objective colour measurement may have limitations. Therefore, indirect selection via GWC is an alternative approach to be used for improving yellowness. Moreover, this study reports on the first-time genetic parameters for visual wool traits in the Corriedale breed.

Heritability of objectively measured wool traits was within the range of estimates reported in the literature for this breed. However, Y-Z was unfavourably correlated with GFW and CFW, the main selection criteria for wool breeds. So, to avoid deterioration of Y-Z, it would be necessary to include it explicitly in the selection programme.

This study also reported a non-different from zero genetic correlation between MFD and Y-Z; given the limited data available, further investigation should be carried out to clarify this aspect.

Wool brightness showed low heritability and only appeared to be genetically correlated with SL and wool character. Phenotypic correlations of Y-Z and Y with the different characteristics were generally low and close to zero.

Although having some uncertainty, our estimates are valuable to breeders and researchers in this area and provide useful initial information for the breeding programme of the Corriedale breed.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support given to this project by Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) and our technical and non technical experimental stations staff.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

Abella, I., Cardellino R.C., Mueller, J., Cardellino R.A., Benítez, D., Lira, R., 2010. South American Sheep and Wool Industries, in: Cottle, D.J. (Eds.), International Sheep and Wool Handbook, United Kingdom, pp. 85- 94.

AWI, 2013. Visual sheep scores-Researcher Version. Sydney, Australia: AWI Ltd & MLA Ltd. https://www.wool.com/globalassets/wool/market-intelligence/woolcheque/characteristics/visual_sheep_scores_researcher_version_lr.pdf

Benavides, M.V., Maher, A.P., 2000. Quantitative genetic studies on wool yellowing in Corriedale sheep. II. Clean wool colour and wool production traits: genetic parameter estimates and economic returns. *Aust. J. Agric Res.* 51 (2), 191-196. <https://doi.org/10.1071/AR98065>

Benavides, M., Damak, S., Maher, A., 2000. A putative resistant DNA marker for wool yellowing susceptibility in sheep. *Genet. Mol. Biol.* 23, 341-346.

<https://doi.org/10.1590/S1415-47572000000200017>

Benavides, M., Maher, A., 2002. Indirect selection criteria against clean wool colour in Corriedale sheep and their effects on wool production traits. *Genet. Mol. Biol.* 25, 139-145. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572002000200005>

Benavides, M., Maher, A., 2003. Genetic parameters of wool colour and skin traits in Corriedale sheep. *Genet. Mol. Biol.* 26, 267-274.
<https://doi.org/10.1590/S1415-47572003000300009>

Bigham, M., Meyer, H., Smeaton, J., 1983. The heritability of loose wool bulk and colour traits and their genetic and phenotypic correlations with other wool traits. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 43, 83-87.

Brash, L.D., Fogarty, N., Gilmour, A., 1994. Genetic parameters for Australian maternal and dual-purpose meatsheep breeds. II. Liveweight, wool and reproduction in Corriedale sheep. *Aust. J. Agric Res.* 45 (2), 469-480.
<https://doi.org/10.1071/AR9940469>

Brown, D., 2006. Genetic aspects of greasy wool colour assessments in Merino sheep. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 54, 1-10. <https://hdl.handle.net/1959.11/3127>

Cardellino, R., Rovira, J., 1987. Heredabilidad, in: Cardellino, R., Rovira J. (Eds.), in: *Mejoramiento genético animal*, Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, pp. 111–151.

Cottle, D.J., Baxter, B.P., 2015. Wool metrology research and development to date. *Text. Prog.* 47 (3), 163-315. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1108543>

Crook, B., Piper, L., Mayo, O., 1994. Phenotypic associations between fibre diameter variability and greasy wool staple characteristics within Peppin Merino stud flocks. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 42, 304-318.

Dyer, J., Bringans, S., Aitken, G., Joyce, N., Bryson, W., 2007. Extraction and

characterization of non-scourable chromophores from discoloured fleece wool. *Color. Technol.* 123, 54-58. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2006.00060.x>

Geweke, J., 1992. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculating posterior moments. in: Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F.M. (Eds.), *Bayesian statistics 4*. Clarendon Press, Oxford, UK, pp. 169- 193.

Hatcher, S., Preston, J.W.V., 2016. Effect of fitting sheep covers and injection of a mineral supplement on the brightness, clean colour and photostability of wool grown by grazing Merino sheep. *Anim. Prod. Sci.* 56, 18-23. <https://doi.org/10.1071/AN14444>

Hawker, H., Dodds, K., Andrews, R., Mcewan, D., 1988. Production and characteristics of wool from the hogget progeny of sheep intensively screened for fleece weight. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 48, 207-212.

<https://doi.org/10.13140/2.1.3582.2728>

Hay, J.B., Mills, S.C., 1982. Chemical changes in the wool wax of adult Merino sheep during prolonged wetting and prior to development of fleece rot. *Aust. J. Agric. Res.* 33, 335-346. <https://doi.org/10.1071/AR9820335>

Hebart, M., Brien, F., 2009. Genetics of wool colour in the South Australian selection demonstration flocks. *Proceedings Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 18, 500-503.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.515.5224&rep=rep1&type=pdf>

International Wool Textile Organisation, 2010a. IWTO 56- Method for the measurement of colour of raw wool. International Wool Textile Organisation, Brussels, Belgium.

International Wool Textile Organisation, 2010b. IWTO30- Determination of Staple Length and Staple Strength. International Wool Textile Organisation, Bruxelles,

Belgium.

International Wool Textile Organisation, 2010c. IWTO 12- Measurement of the Mean and Distribution of Fibre Diameter Using the Sirolan-Laserscan Fibre Diameter Analyser. International Wool Textile Organisation, Bruxelles, Belgium.

James, P., Ponzoni, W., Walkley, J., Smith, D., Stafford, J., 1983. Preliminary estimates of phenotypic and genetic parameters for fleece rot susceptibility in the South Australian Merino. *Wool Tech. Sheep Breed.* 31, 152-157.

James, P.J., Ponzoni, R.W., Walkley, J.R.W., Whiteley, K.J., 1990. Genetic parameters for wool production and quality traits in South Australian Merinos of the Collinsville family group. *Aust. J. Agric Res.* 41, 583-594.

<https://doi.org/10.1071/AR9900583>

Lipson, M., Hilton, R., Watts, J., Merritt, G., 1982. Factors influencing fleece rot in sheep. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 22, 168- 172.

<https://doi.org/10.1071/EA9820168>

Millington, K.R., Dyer, J.M., Fleet, M.R., Mahar, T.J., Smith, J., Swan, P., 2008. Improving the whiteness and photostability of merino wool. The 86th Textile Institute World Conference: Fashion and Textiles: Heading for New Horizons. 18-21 November, Hong Kong. <https://doi.org/10.1111/cote.12109>

Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T., Lee, D., 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90), in: Proc. 7th World Congress. Genetic. Applied Livestock Production, Montpellier, France. p. 2.

<http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=28-07.pdf>

Mortimer, S.I., 2007. A review of genetic parameters for visual traits in Australian Merino genetic resource flocks. *Int. J. Sheep Wool Sci.* 55, 76-96.

Mortimer, S.I.; Hatcher, S.; Fogarty, N.M.; van der Werf, J.H.J.; Brown, D.J.;

Swan, A.A.; Greeff, J.C.; Refshauge, G.; Edwards, J.E.H.; Gaunt, G.M., 2017. Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep. *J Anim Sci.* 95 (5), 1879-1891.

Mortimer, S., Robinson, D., Atkins, K., Brien, F., Swam, A., Taylor, P., Fogarty, N., 2009. Genetic parameters for visually assessed traits and their relationships to Wool Production and live weight in Australian Merino sheep. *Anim. Prod. Sci.* 49, 32-42.
<https://doi.org/10.1071/EA08074>

Neimaur, K., Urioste, J.I., Naya, H., Sanchez, A.L., Sienna, I., Kremer, R., 2021. Climatic and genetic effects in seasonal measurements of colour in Corriedale wool. *Small Rumin. Res.* 201, 106449. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106449>

Raadsma, H., Wilkinson, B., 1990. Fleece Rot and Body Strike in Merino sheep. IV Experimental evaluation of traits related to greasy wool colour for indirect selection against fleece rot. *Aust. J. Agric Res.* 41. 139-153. <https://doi.org/10.1071/AR9900139>

Safari, E., Fogarty, N.M., Gilmour, A., 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livest. Prod. Sci.* 92, 271-289. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.09.003>

Sánchez, A. L., Urioste, J., Peñagaricano, G.; Neimaur, K., Sienna, I., Naya, H., Kremer, R., 2016. Genetic parameters of objectionable fibers and of their associations with fleece traits in Corriedale sheep. *J. Anim. Sci.* 94, 13-20.
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9619>

Smith, J., Purvis, I., 2009. Genetic variation in clean wool colour in fine wool Merinos. *Proceedings Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 18, 390-393. <http://www.aaabg.org/proceedings18/files/smith390.pdf>

Sumner, R., Craven, A., 2005. Relation between skin structure and wool yellowing in Merino and Romney sheep. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 65, 197-202.

Wood, E., 2002. The basis of wool colour measurement. *Wool Tech. Sheep Breed.* 50, 121-132.

Wuliji, T., Dodds, K., Land, J., Andrews, R., Turner, P., 2001. Selection for ultrafine Merino sheep in New Zealand: heritability, phenotypic and genetic correlations of liveweight, fleece weight and wool characteristics in yearlings. *Anim. Sci.* 72, 241-250. <https://doi.org/10.1017/S1357729800055739>

Table 1. Mean values (\pm standard deviation) and heritability (h^2) (\pm posterior standard deviation) estimated for wool production and objectively measured and visually assessed quality traits in Corriedale hoggets (n=1181)

Objective trait	Mean \pm s.d.	$h^2 \pm$ p.s.d.	Visual trait	Mean \pm s.d.	$h^2 \pm$ p.s.d.
Y-Z	1.46 \pm 1.78	0.22 (0.06)	GWC	2.90 \pm 0.92	0.13 (0.04)
Y	65.12 \pm 3.13	0.10 (0.04)	CH	2.66 \pm 0.67	0.20 (0.06)
GFW	2.57 \pm 0.71	0.41 (0.08)	HA	2.47 \pm 0.65	0.20 (0.06)
CFW	2.02 \pm 0.55	0.39 (0.08)	SF	2.59 \pm 0.62	0.19 (0.06)
WY	79.03 \pm 4.48	0.29 (0.08)	DP	2.82 \pm 0.53	0.35 (0.08)
MFD	24.40 \pm 2.34	0.56 (0.09)	CL	2.65 \pm 0.79	0.14 (0.05)
CVD	22.29 \pm 2.90	0.39 (0.09)			
%F>30 μ	14.23 \pm 10.13	0.59 (0.09)			
SL	9.81 \pm 1.81	0.39 (0.09)			
SS	33.43 \pm 10.65	0.23 (0.06)			

Y-Z= yellowness; Y= brightness; GFW= greasy fleece weight; CFW= clean fleece weight; MFD= mean fibre diameter; CVD= coefficient of variation of fibre diameter; % F>30 μ = percentage of fibres larger than 30 μ ; SL= staple length; SS= staple strength; GWC= Greasy wool colour; ; CH= wool character; HA= wool handle; SF= staple formation; DP= dust penetration; CL= cross-linking; the correlations found to be significantly different from 0, are shown in bold.

Table 2. Posterior means and standard deviations of genetic (r_g) and phenotypic (r_p) correlations of Y-Z and Y with wool production and quality traits objectively measured

	Y-Z		Y	
	r_g	r_p	r_g	r_p
GFW	0.43 (0.15)	0.16 (0.03)	0.05 (0.22)	0.12 (0.03)
CFW	0.56 (0.14)	0.20 (0.03)	0.01 (0.22)	0.07 (0.03)
WY	0.61 (0.15)	0.15 (0.03)	-0.30 (0.22)	-0.17 (0.03)
MFD	0.25 (0.17)	0.09 (0.03)	0.08 (0.23)	0.08 (0.03)
CVD	-0.09 (0.20)	0.03 (0.08)	0.07 (0.24)	-0.06 (0.03)
%F>30 μ	0.19 (0.17)	0.07 (0.03)	0.06 (0.22)	0.06 (0.03)
SL	0.44 (0.17)	0.01 (0.03)	0.56 (0.17)	0.13 (0.03)
SS	-0.15 (0.21)	-0.10 (0.03)	0.05 (0.25)	0.08 (0.03)

Y-Z= yellowness; Y= brightness; GFW= greasy fleece weight; CFW= clean fleece weight; MFD= mean fibre diameter; CVD= coefficient of variation of fibre diameter; % F>30 μ = percentage of fibres larger than 30 μ ; SL= staple length; SS= staple strength; the correlations found to be significantly different from 0, are shown in bold.

Table 3. Posterior means and standard deviations of genetic (r_g) and phenotypic (r_p) correlations of Y-Z and Y with visual wool traits

	Y-Z		Y	
	r_g	r_p	r_g	r_p
GWC	0.70 (0.13)	0.30 (0.03)	-0.03 (0.25)	-0.10 (0.03)
CH	-0.32 (0.20)	0.09 (0.03)	0.39 (0.22)	-0.03 (0.03)
HA	0.02 (0.21)	0.19 (0.03)	0.28 (0.23)	-0.06 (0.03)
SF	0.01 (0.22)	0.19 (0.03)	0.24 (0.24)	-0.06 (0.03)
DP	-0.15(0.20)	0.08 (0.03)	-0.09 (0.25)	-0.11 (0.03)
CL	0.03 (0.24)	0.16 (0.03)	0.18 (0.26)	-0.06 (0.03)

Y-Z= yellowness; Y= brightness; GWC= Greasy wool colour; CH= wool character; HA= wool handle; SF= staple formation; DP= dust penetration; CL= cross-linking; the correlations found to be significantly different from 0, are shown in bold.