UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

TÍTULO: Efecto de la selección divergente por resistencia a parásitos gastrointestinales en ovinos sobre el consumo y eficiencia de conversión del alimento

AUTOR: MV. Gracialda Ferreira de Ferreira

Tesis de Maestría en Producción Animal

Uruguay

2020

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

TÍTULO: Efecto de la selección divergente por resistencia a parásitos gastrointestinales en ovinos sobre el consumo y eficiencia de conversión del alimento

AUTOR: MV. Gracialda Ferreira de Ferreira

De Barbieri Ignacio, Ing. Agr. PhD

Director de Tesis

2020

Ignacio De Barbieri, Ing. Agr. PhD.	Georgget Banchero, Dra. PhD.
Director de Tesis	Co- director de Tesis
Gabriel Ciappesoni, Ing. Agr. PhD.	
Co- director de Tesis	

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

2020

ACTA DE EXAMEN

CURSO: Defensa de Tesis de Maestría

LUGAR Y FECHA DE LA DEFENSA: Montevideo, 10 de julio de 2020

Tribunal: Dra. Silvia Llambí (Presidente), Dr. Sergio Fierro, Dra. Eileen Armstrong

CI ESTUDIANTE	NOMBRE	CALIFICACIÓN	NOTA
6162742-5	FERREIRA de FERREIRA, Graciaida	S.S.S	12

PRESENTADOS	NO PRESENTADOS	APROBADOS	APLAZADOS	INSCRIPTOS
1	0	1	0	1

TRIBUNAL **FIRMA**

Dra. Silvia Llambí (Presidente)

Dr. Sergio Fierro

Dra. Eileen Armstrong

NOTA: Las calificaciones de aprobación de la Tesis de Maestría pueden ser:
B.B.B. – 6 o S.S.S. – 12

INFORME DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, que me condujo hasta acá, hasta caminos lejos de casa y de la familia, pero cruzando con gente que me hizo creer que en Uruguay podría realizar mis sueños y seguir mis caminos.

¡Gracias a mi familia, por comprender y siempre apoyarme!

Gracias al Ing. Ignacio De Barbieri, por su inmensa paciencia, dedicación como tutor con muchas enseñanzas como profesional y personal, gracias por creer que yo podría estar en este lugar, por seguir apostando en mi persona como profesional. Gracias a la Dra. Georgget Banchero, la cual la vida me regalo su convivencia, aprendiendo con esa gran profesional y una persona increíble. Gracias al Ing. Gabriel Ciappesoni por su increíble conocimiento, por la dedicación y paciencia conmigo y al Zootecnista y gran amigo Fernando Amarilho quien me ayudó en los análisis estadísticos.

Muchas gracias al Secretariado Uruguayo de la Lana en especial al Dr. Daniel Castells por permitir el trabajo con los animales pertenecientes al Núcleo Resistente y Susceptible de CIEDAG, y el gran aporte intelectual y la ayuda de Peto para realizar las infestaciones artificiales en el experimento, ¡gracias Peto por toda la "buena onda" que pusiste para la realización del trabajo, como siempre una gran persona y un profesional increíble!

Gracias a los animalitos (corderos) que estuvieron conmigo y disponibles para realizar este trabajo con mucha alegría.

Gracias a todo el personal de INIA La Magnolia que estuvieron ayudándome en el proyecto, directa o indirectamente: Marta Silva, Mauro Bentancurt, Briam Rodríguez, Fernando Rovira, Gustavo Freitas, Julio Larronda, David Lima, José Eduardo Palles, Pablo Fraga y Ruben Baladón.

Al personal de INIA Tacuarembó, Zenia Barrios, Ignacio Marrero, Martín Olivera y al personal del Laboratorio de Sanidad Animal, Dra. América Mederos, Yovana Martínez y Gonzalo Escayola. A Wilfredo Zamit, Ángel Rodríguez y Julio Costales, gracias por realizar los estudios de Área de Ojo de bife y Espesor de Grasa.

Gracias a los pasantes Sergio Andrés Sánchez, Estefanía Salazar, Lizeth Rodríguez y Victor Hugo Ramos, de Colombia y Brasil.

¡Gracias a los amigos del "núcleo gaúcho en Tacuarembó" Denise Steinhorst, Marlom Risso, William Madera y una gran amiga que la "sala de estudios" me regaló Laura Nuñez y a Martín Lucas muchas gracias a ustedes por las conversas, las sonrisas y el apoyo de estos 2 años. ¡A los amigos que este país me regalo y que me recibieron muchas veces en sus casas y me hicieron parte de su familia, gracias!

Gracias a INIA por la beca para realizar mis estudios de maestría.

En fin, gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

"El mundo es como un espejo que devuelve a cada persona el reflejo de sus proprios pensamientos. La forma como uno enfrenta la vida es de dónde proviene la diferencia."

Luís Fernando Verissimo

INDICE DE CONTENIDOS

INFORME DEL TRIBUNAL 5

AGRADECIMIENTOS 6

INDICE DE CUADROS 10

INDICE DE FIGURAS 10

RESUMEN 11

SUMMARY 12

1. INTRODUCCIÓN 13

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS 17

2.1 Resistencia genética como estrategia de control de parásitos gastrointestinales 17

2.2 Costo de la parasitosis y la inmunidad 21

2.3 Eficiencia de conversión de alimento en producto 23

2.4 Consumo residual del alimento (CRA) 24

3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA 26

4. HIPÓTESIS 27

5. OBJETIVOS 28

5.1 General 28

5.2 Específicos 28

6. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN 28

7. MATERIALES Y MÉTODOS 29

7.1 Diseño experimental 29

7.2 Animales experimentales y manejo 29

7.3 Prueba 1: Consumo residual del alimento sin desafío parasitario 31

7.4 Prueba 2: Consumo residual del alimento con desafío parasitario 32

7.5 Infestación parasitaria 32
7.5.1 *H. contortus* en un protocolo de infestación artificial 33
7.5.2 Obtención de las larvas L3 33
7.5.3 Cultivo y recuperación de larvas L3 33
7.6 Infestación de los animales 34
7.7 Control infestación 34
8. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 36
8.1Análisis de características fenotípicas 36
8.2 Análisis de evaluación de tiempo necesario para la prueba del CRA 38
9. RESULTADOS 38
9.1 Línea de selección 38
9.2 Días necesarios para medición de consumo residual del alimento 40
10. DISCUSIÓN 41
10.1 Líneas de selección 41
10.2 Días necesarios para medición del CRA en pruebas con ovinos 44
11. CONCLUSIONES 45
12. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO 45
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
ANEXO 1: XI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericano. 54
ANEXO 2: 70° Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP) Ghent (Bel). 55
ANEXO 3: Manuscrito 56

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diagrama de actividades, prueba 1 del 10/08 al 09/10/2018 y prueba 2 del 13/10 al 24/11/2018. 36

Cuadro 2. Períodos evaluados para la prueba de tiempo necesario para medir el CRA. 38

Cuadro 3. Consumo residual del alimento (CRA), consumo, conversión alimenticia (CA), ganancia media diaria (GMD), peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), área de ojo de bife (AOB) y espesor de grasa (EG), de línea HPG seleccionada para resistencia a PGI en la prueba sin infestación de *H. contortus* (prueba 1) y con infestación (prueba 2, períodos 2.a y 2.b). 39

Cuadro 4. Correlaciones de los modelos para días (P) y medidas repetidas (P') de medición de consumo para pruebas de CRA. 40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia genética para el valor de cría (DEP) de HPG de las líneas divergentes de CIEDAG. 18

Figura 2. Comederos automáticos utilizados para medición de consumo en ovinos (izquierda). Plataforma de pesaje con balanza automática a la entrada de los bebederos (derecha). ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3. Corderos donadores para cultivos de larvas. 33

Figura 4. Cultivos de materia fecal en estufa. 34

Figura 5. Evolución de la carga parasitaria, expresado en el HPG en log, para Línea HPG durante 42 días. 40

RESUMEN

Se ha indicado que podría haber un antagonismo entre la selección para la resiliencia y la eficiencia de conversión alimenticia en rumiantes. Este estudio tuvo como objetivo determinar si ovinos genéticamente seleccionados para la resistencia a los parásitos gastrointestinales diferirían en la ingesta de alimento y la eficiencia de conversión de alimento, ya sea cuando los animales estuviesen libres o no de parásitos gastrointestinales. Para evaluar esto, se utilizaron 67 corderos Corriedale (357 ± 14 días de edad) genéticamente seleccionados a favor o en contra para resistencia a los parásitos gastrointestinales (PGI; 29 resistentes-R y 38 susceptibles-S). Se estimó el consumo individual de materia seca (CMS), relación de conversión de alimento (CA) y consumo residual de alimento (CRA). Los corderos fueron sorteados por sexo, peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) y padre. Fueron asignados a uno de los cinco corrales equipados con cinco sistemas de alimentación automatizados y dos plataformas automáticas de pesaje para registrar el consumo de alimento individual y el peso corporal. Se ofreció alimento (heno de alfalfa, MS 38%, PC 20.5%, EM 9.2 MJ/kg MS) y agua *ad libitum*. El experimento se realizó en dos pruebas. Primero, los animales se mantuvieron libres de parásitos (14 días de acostumbramiento y 44 días de registros) y luego, en la prueba 2 (42 días), los animales fueron infestados artificialmente con 6.000 L3 de *Haemonchus contortus*. Los recuentos de huevos fecales por gramo (HPG) se registraron los días 9, 23, 27, 30, 42 después de la infestación. La ganancia media diaria (kg/día) se calculó mediante regresión utilizando todos los registros de PV diario para cada período y el CRA fue el residual resultante del modelo CMS = GMD + $PV^{0,75}$+ CORRAL (1-5) + edad de la madre (1-4). CMS, CA, GMD, $PV^{0,75}$ se analizaron utilizando un modelo lineal general que incluye como efectos fijos: edad de la madre, corral y línea genética. Para CRA el único efecto fijo fue la línea genética. En ambos períodos, no hubo efecto ($p>0.05$) de la línea genética en CMS, CA, CRA, GMD o $PV^{0,75}$. HPG fue diferente ($p <0.05$) en el día 23, siendo mayor en la línea S. El resultado más importante de este estudio es que la cría de animales resistentes a PGI no tendría un efecto negativo en la eficiencia de conversión alimenticia cuando se evalúa como CA o CRA en corderos de 1 año alimentados *ad libitum* con una dieta alta en contenido proteico.

Palabras- clave: eficiencia de conversión alimenticia, nemátodos gastrointestinales

SUMMARY

It has been indicated that there might be an antagonism between selection for resistance to parasites and feed conversion efficiency in ruminants. This study aimed to determine if genetically selected sheep for resistance to gastrointestinal parasites would affect feed intake and feed conversion efficiency, either when animals were free or not from gastrointestinal parasites. To evaluate this, 67 Corriedale lambs (357±14 days old) genetically selected or no for resistance to gastrointestinal parasites (GIP; 29 resistant-R and 38 susceptible-S) were evaluated for individual dry mater intake (DMI), feed conversion ratio (FCR) and residual feed intake (RFI). Lamb were stratified by sex, body weight (BW) and sire. They were allotted to one of five outdoor pens equipped with five automated feeding systems and two automatic weighing platforms to record individual feed intake and BW. Feed (Lucerne haylage, DM 38%, CP 20.5%, ME 9.2 MJ/kg DM) and water were offered *ad libitum*. The experiment was conducted in two periods. First animals were maintained worm- free (14 days of acclimatization and 44 days of records) and then, in period 2 (42 days), animals were artificially infested with 6.000 L3 of *Haemonchus contortus*. Faecal egg counts (FEC) were recorded on days 9, 23, 27, 30, 42 post-infestation. ADG (kg/day) was calculated by regression using all daily BW for each period and RFI was the residual resulting from the model DMI = ADG + average BW0.75 + pen (1-5) + dam's age (1-4). DMI, FCR, ADG, $BW^{0,75}$ were analyzed using a general linear model including as fixed effects: dam`s age, pen and genetic line. For RFI, only the genetic line was included as fixed effect in the model. In both periods, there was no effect ($p>0.05$) of the genetic line on DMI, FCR, RFI, ADG or BW. FEC was different ($p<0.05$) on day 23, being higher in S line. The most important finding of this study was that breeding GIP-resistant animals would not have a negative effect on feed conversion efficiency when evaluated as FCR or RFI in 1-year old lambs fed *ad libitum* with a high protein diet.

Keyword: Feed conversion efficiency, Gastrointestinal nematodes

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay la producción ovina se caracteriza por desarrollarse sobre campo natural y por lo tanto, es dependiente de la variación dentro y entre años en la oferta y calidad de pasturas, como respuesta al clima templado (Bermúdez yAyala, 2005). Estos dos aspectos, clima templado y base pastoril, favorecen el desarrollo de enfermedades vinculadas a parásitos gastrointestinales (PGI). En un estudio realizado en 2008, los géneros *Haemonchus spp*. y *Trichostrongylus spp*. fueron identificados como los parásitos más prevalentes en el país (Castells, 2008). *Haemonchus spp*. es un parásito del abomaso, hematófago que genera anemia e hipoproteinemia, pérdidas productivas e incluso muerte de animales cuando la enfermedad no es diagnosticada y tratada a tiempo. Su mayor prevalencia ocurre en otoño y verano en particular en veranos lluviosos, donde las condiciones favorables de humedad y alta temperatura proporcionan un ambiente adecuado para el desarrollo de sus larvas. El género *Trichostrongylus spp*. es un parásito del intestino delgado, el principal signo clínico que genera es la presencia de diarrea y pérdida de peso vivo, no es frecuente que se registre mortandad por la presencia de este parásito, aunque si genera pérdidas productivas. El conteo de huevos de parásitos por gramo de heces (HPG) es el método de diagnóstico utilizado para los PGI. Es un método de diagnóstico sencillo, rápido y confiable que permite estimar la carga de parásitos, se expresa con un valor numérico (promedio o valores individuales). El método de FAMACHA® que se vincula a infestaciones por *Haemonchus*, sirve como herramienta para definir dosificaciones individuales a los animales, es realizado a través de una inspección clínica de la mucosa ocular evaluando el grado de anemia (grados de anemia de 1 a 5, menor a mayor infestación respectivamente) (Bath et al., 2001; Castells, 2004).

El ciclo biológico de los PGI presenta una fase parasitaria sobre el huésped y otra fase de vida libre, no parasitaria en las pasturas. En la fase de vida libre están las fases larvarias L1- L2 y L3, en la fase tres las larvas son ingeridas por el ovino y en el abomaso o intestino mudan a fase L4-L5 y luego la hembra y el macho maduran y copulan. La hembra produce los huevos que son eliminados junto a la materia fecal del ovino (Ueno y Gonçalves, 1998). En un estudio (Castells et al., 1997) del impacto de los PGI en pérdidas productivas en la recría ovina con infestaciones muy agudas, se indica que la mortalidad puede alcanzar valores máximos de 50%, mientras que se pueden registrar pérdidas de hasta 24% en peso vivo, 29% en peso de vellón sucio, 11% en el largo de mecha y 6% en el diámetro de la fibra. De acuerdo con ese estudio las pérdidas fueron relacionadas a altas cargas y constante parasitismo en el primer año de vida, sin embargo

los animales siguieron presentando efectos negativos en la producción incluso en su segundo año de vida.

Existen diferentes mecanismos de control (Mederos y Banchero, 2013) de los parásitos como: la utilización de pasturas seguras (tiempo de descanso o pastoreo mixto), el estímulo inmunitario a través de vacunas, el control biológico a través de organismos vivos (enemigos naturales) como hongos de los géneros *Artrobotris sp*. o *Duddingtonia sp*., el control por intermedio de las propiedades (compuestos secundarios, contenido de proteína) de determinadas pasturas, como el caso de *Lotus uliginosus*, el manejo de la nutrición mediante un aumento de los niveles de proteína en la dieta que mejoran la respuesta inmune natural del animal, el control químico con drogas antihelmínticas y la selección de animales genéticamente resistentes (Castells, 2005a). Este último mecanismo, que identifica animales con una mayor resistencia genética a los nematodos gastrointestinales podría conducir a un incremento en los índices productivos, un descenso en el desarrollo de la enfermedad, y a disminuir la contaminación de las pasturas y la frecuencia del uso de drogas químicas (Castells, 2008). La resistencia es definida como la capacidad que el huésped presenta de impedir la infestación parasitaria o eliminarla pronto (Castells, 2008). Paralelamente, a la resistencia, se maneja el concepto de resiliencia, definida como "la habilidad del animal de mantener un nivel adecuado de producción frente a desafíos o como la capacidad de retornar al equilibrio luego de un período de estrés, sin consecuencias permanentes y adaptarse a fluctuaciones del ambiente rápidamente" (De Goede et al., 2013), Concepto que para el caso de los parásitos gastrointestinales no afectaría favorablemente la eliminación de huevos en las heces de los ovinos.

La mayor resistencia a los PGI puede ser encontrada entre razas y en animales dentro de una misma raza, por ejemplo, la raza Red Masssai comparada con la raza Dorper presenta mayor resistencia a *H. contortus* (Baker et al., 2003). En Brasil la raza Criolla Lanada demuestra mayor resistencia al mismo parásito comparada a animales de la raza Corriedale (Bricarello et al., 2004) y en Uruguay Fernandez y Remedi (2015) estudiaron la raza Criolla que se presenta con bajos conteos de HPG.

Se han desarrollado en el Centro de Investigación y Experimentación Dr. Alejandro Gallinal (CIEDAG- SUL), dos líneas divergentes en resistencia genética a PGI, bajo infestaciones naturales, denominadas línea resistente (no implica que sus cargas parasitarias sean 0) y línea susceptible. La selección por resistencia a PGI en CIEDAG está basada en las Diferencias Esperadas en la Progenie (DEP) de HPG, no siendo

consideradas directamente las características productivas en las líneas divergentes al momento de la selección de reemplazos. En Uruguay, se han reportado correlaciones genéticas entre el HPG y el peso de vellón sucio (-0,15) y limpio (-0,08), peso vivo (-0,35) y diámetro de la fibra (-0,16) (Castells, 2008). Eady et al (1998), en animales de la raza Merino encontraron correlaciones de HPG y PVS a los 10 meses de 0,21, para 16 meses -0,06 y 21 meses de 0,21, para diámetro en las mismas edades encontraron correlaciones de -0,09, -0,12 y 0,04 respectivamente. La diferencia con los trabajos realizados por Castells es que los animales fueron seleccionados por DEPs para resistencia a PGI, mientras que Eady et al. realizaron una selección fenotípica.

Una función inmune mejorada no viene sin ningún costo al individuo, los recursos que necesita para reclutamiento de células efectoras y una mejor señalización del sistema inmune parecen implicar mayores requerimientos (Colditz, 2008). Las parasitosis son una interacción entre el huésped, parásito y medio ambiente, y alguna alteración en esos factores puede modificar el resultado de una infestación (Colditz, 2008). Alteraciones en el fenotipo del animal puede estar relacionada con alteraciones en el resultado de la respuesta inmune (Watson y Gill, 1991), además los costos con la respuesta inmune pueden estar influenciados también por la disponibilidad de recursos que el huésped puede utilizar (Colditz, 2008).

La selección genética de animales para una mayor producción asociada a una mejor eficiencia del uso del alimento en producto animal, puede reducir los recursos disponibles del animal para responder a todas las demandas de crecimiento ontogénico, sistema inmune, comportamiento social y reproducción (Rauw, 2012). Lo que puede generar una reducción en la capacidad de ese individuo para responder a factores estresantes y adaptarse a una variedad de condiciones ambientales, y como consecuencia podría llevar a un aumento en las enfermedades y en definitiva una disminución de la robustez del animal. Robustez entendida “como la habilidad de los animales de combinar un alto desempeño productivo o reproductivo con resiliencia a factores estresantes, permitiendo la expresión sin problemas de un alto potencial productivo en una amplia variedad de condiciones ambientales” (Knap, 2005).

Los principales nutrientes requeridos por los rumiantes incluyen carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales. Ante la presencia de PGI, el animal reduciría la ingesta de alimento con una consecuente reducción de nutrientes disponibles en el tracto gastrointestinal para la respuesta inmune y reparación de tejidos (Parkins y Holmes, 1989). La reducción de la ingesta de alimento puede ser del 10 al 30% (Van Houtert y

Sykes, 1996), la cual va a depender del grado de infestación, aguda o crónica, y de la infestación mono específica o mixta. En un estudio con infestación por goteo, con dosis que iban de 30 a 30.000 L3 por semana de *T. colubriformis*, la reducción de consumo varió entre 0 y 66% y ocurrió 10 semanas después del inicio de la infestación (Steel, 1978).

La teoría de asignación de recursos, propuesta por (Beilharz et al., 1993) puede explicar la variación en la producción de un animal frente a diferentes desafíos parasitarios. Esta teoría propone que los recursos metabólicos utilizados para una determinada función (ej.: reproducción o respuesta inmune) estarán deprimidos y poco disponibles para otra función del organismo cuando no existe una adecuada asignación de recurso que, también se puede explicar por el "modelo de barril" modificado (Rauw, 2012), basado en el modelo original de (Weiner, 1992). Existen tres entradas en serie que llevan los recursos al cuerpo, la ingesta voluntaria del alimento, capacidad digestiva y capacidad de absorción, de ahí los nutrientes son repartidos a diferentes funciones del organismo (salidas en paralelo e independientemente controladas). La primera salida es el mantenimiento del animal, condición en la cual el animal se mantiene en equilibrio cuando la ingesta es igual a las pérdidas por lo tanto no gana ni pierde peso. La segunda salida, o demanda de nutrientes, es para el crecimiento ontogénico que es el crecimiento desde el nacimiento hasta la edad adulta, el cual está determinado en gran parte por la genética, pero también es influenciado por otros factores como las condiciones intrauterinas, la disfunción endócrina en edades tempranas y el tiempo insuficiente para la maduración posnatal, aspectos que pueden provocar un desajuste en la asignación de recursos. La tercera salida del "barril" son los nutrientes y energía que el animal demanda para la producción, y cuando la asignación es alta y los recursos del cuerpo (relleno del barril) no son suficientes no alcanza por ejemplo para la función de reproducción (cuarta salida) o acumulación de reservas. Es decir que el animal necesita constantemente de recursos para mantenerse, el organismo tratará de asignar lo que necesite para esa función que garantiza su supervivencia a corto plazo, para después asignar recursos para otras funciones. Si la captación de recursos falla (hay problemas en alguna de las tres entradas de recursos) el "barril" no será rellenado y alguna función del huésped se verá afectada.

Estudios de consumo residual (CRA o RFI, residual feed intake en inglés) se basan en la existencia de variabilidad individual en la eficiencia del uso del alimento. La determinación del CRA permitiría identificar animales que requieren más o menos alimento que el estimado para un tamaño y nivel de producción. Según Herd y Arthur

(2008) es probable que cinco procesos fisiológicos contribuyan a la variación del CRA, y estos serían la ingesta del alimento, digestión, el metabolismo, la actividad física y la termorregulación. De acuerdo con Luiting (1999), los factores que contribuyen en la variación del CRA serían el comportamiento ingestivo, la digestión de nutrientes, los requerimientos de mantenimiento, homeostasis y partición de energía.

El modelo original de (Koch et al., 1963) para cálculo de CRA es consumo de materia seca (Y)= $\beta_0 + (\beta_1 PV^{0,75}) + \beta_2 + \varepsilon$, donde el residuo es el CRA. En el modelo estadístico la variable es la porción residual del consumo del alimento, donde se identifica animales que se desvían de su nivel esperado de ingesta de alimento (Herd y Arthur, 2008).

El cálculo de consumo residual de alimento está íntimamente relacionado con el modelo de asignación de recursos: $FIi= (b1 \times PVM^{0,75}i) + (b2 \times BWGi) + (b3 \times PRODi) + \varepsilon i$. El modelo nos muestra que la ingesta de alimento (FIi) está relacionada con el peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), ganancia de peso corporal (BWG) y con el nivel de producción. Donde b1, b2 y b3 son los coeficientes de regresión parcial que representan los requisitos de alimentación para mantenimiento, crecimiento y producción (Rauw, 2012). El CRA que es el residuo, se debe a la variación en las eficiencias parciales para el mantenimiento, crecimiento y producción, o porque los procesos asociados que demandan alimento no se incluyeron en el modelo, como actividades de comportamiento, respuestas a patógenos y al estrés. La similitud entre los modelos nos dice que el CRA es una forma de evaluar la asignación de recursos, a partir de la cual se identifican animales que requieren más o menos alimento del esperado.

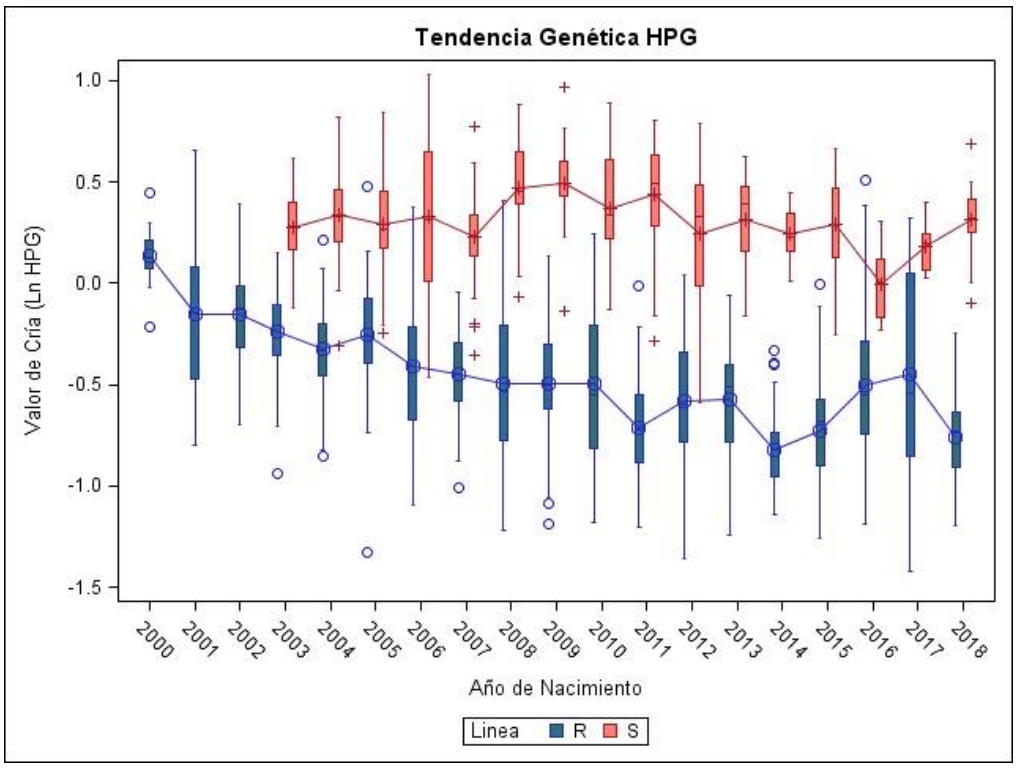
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

2.1 Resistencia genética como estrategia de control de parásitos gastrointestinales

La resistencia es la capacidad que el huésped presenta de impedir la infestación parasitaria o eliminarla pronto, diferenciándose de resiliencia que es cuando el animal tiene la capacidad de mantener buenos niveles productivos bajo infestación parasitaria (Castells, 2008). Al estudiar los beneficios de la respuesta inmune, se debe considerar no sólo lo que implica la resistencia en el individuo, sino también en la población de animales a la que pertenece ese individuo. Los animales resistentes a parásitos presentarían la ventaja de reducir la infestación de las pasturas con el consecuente menor desafío larvario para sus descendientes y/o congéneres (Bisset et al., 1997; Eady et al., 2003).

Debido a factores como las pérdidas en productividad, el alto potencial biótico de las hembras de *H. contortus*, alta contaminación de las pasturas, y la capacidad del parásito de resistir a los antihelmínticos, es que a partir del año 1998 se comenzó a desarrollar la línea resistente a los PGI en el SUL y en 2003, a partir de los carneros con DEP de HPG más desfavorable (susceptibles) y ovejas con valores más altos para HPG, se comenzó el desarrollo de una línea susceptible. Esta línea susceptible permite hacer comparaciones con la resistente y evaluar las consecuencias de la selección genética divergente (Castells, 2008). Así como también, explorar la identificación de marcadores moleculares que ayuden en la selección de la resistencia (Castells, 2005b). Grasso (2014) encontró una división genética moderada entre las líneas R y S, que puede compararse con la misma diferencia genética encontrada entre dos razas.

La tendencia genética para el HPG de las líneas divergentes se presenta en la Figura 1, a partir del año 2003 donde se incorpora la línea susceptible se puede observar el distanciamiento entre esas líneas, también se nota que la línea susceptible se acercó al valor DEP 0, mientras que los animales resistentes siguen con su valor negativo (Ciappesoni et al, datos sin publicar).



Fuente: Ciappesoni et al, datos sin publicar.

Figura 1. Tendencia genética para el valor de cría (DEP) de HPG de las líneas divergentes de CIEDAG.

En Uruguay, se realiza la evaluación genética de la resistencia a PGI a través de la diferencia esperada en la progenie del conteo de HPG (DEP HPG), en corderos post destete (Ciappesoni et al., 2009). Esa medición post destete, responde a muestreos seriados (dos en las cabañas y tres en CIEDAG) de heces, realizados en ciclos parasitarios independientes y bajo infestaciones naturales. El protocolo consiste en una dosificación en el destete a todos los corderos con un antihelmíntico de eficacia probada para cada establecimiento, y a los 10 días se muestrea para chequear que la carga parasitaria haya bajado a cero. A partir de ese momento se hace monitoreo cada 15-30 días en una muestra de 20 animales de la población elegidos al azar, hasta que la media aritmética supere los 500 HPG y no presente más de 10% de las muestras con resultados iguales a cero de HPG. Cuando esa muestra alcanza los 500 HPG, se colectan muestras individuales de heces (HPG 1) y se aplica nuevamente un antihelmíntico de probada eficacia. Después de esta primera aplicación se monitorea los animales y se sigue el mismo protocolo para el HPG 2 y HPG 3 (este tercer conteo se registra sólo en el CIEDAG). Debido a que se trabaja con infecciones naturales, la edad del muestreo es dependiente de la epidemiología y cambia de un año al otro (Ciappesoni et al., 2013; Ciappesoni y Goldberg, 2018). Este proceso, junto con el protocolo de la evaluación genética permite la generación del DEP para HPG y la posibilidad de ser utilizado como criterio para la selección de animales genéticamente más resistentes (Castells, 2008).

La selección de animales resistentes a PGI fue desarrollada en Australia, años antes que, en Uruguay, con ovinos de la raza Merino (CSIRO). La evaluación de corderos se realizaba en el post destete, los corderos se destetaban a los 5-6 meses y se infestaban artificialmente con 10.000 L3 de *H. contortus* vía oral. La selección, basada en la respuesta a este proceso de infestación, permitió obtener líneas divergentes, las cuales fueron la base para otras investigaciones (Woolaston et al., 1990). Los animales que tuvieron una mayor resistencia a PGI (a través de evaluación por HPG) fueron designados como resistentes (IRH) y los de menor resistencia como susceptibles (DRH).

Utilizando estas líneas, se estudió la evolución del HPG en el período periparto de las ovejas, comparando animales de las líneas IRH, DRH y un grupo control (CH - animales al azar) (Woolaston, 1992). Durante cuatro semanas preparto los animales IRH pasaron de un promedio de 50 a 300 huevos por gramo, mientras las ovejas DRH de 400 a 1800. En el período de lactación el promedio fue 600, 3000 y 1700 HPG, para IRH, DRH y CH, respectivamente. En el período de cuatro semanas post parto encontraron que las ovejas resistentes llegaron a su pico máximo de conteo de huevos mientras que las

ovejas susceptibles y control siguieron subiendo su conteo, ese período coincide con el alza de lactación de las ovejas. Otro estudio con Merino en Uruguay, reportó que la selección de animales por información post destete, está favorablemente correlacionada con la resistencia a PGI de las ovejas en el periodo periparto, con correlación de 0,81 entre HPG de ovejas en el periparto y el HPG de esos animales post destete (Goldberg et al., 2012). Estos resultados indican la viabilidad de poseer expresiones diferentes de la característica luego de un proceso de selección y que al seleccionar los animales en su primer año de vida trasladamos la característica resistente para los animales adultos, lo que en el momento de alza de lactancia favorece a la oveja disminuyendo el desarrollo de la parasitosis, así como al cordero que va a tener menor desafío larvario en las pasturas.

En relación a los parámetros genéticos, la heredabilidad para la línea IRH fue 0,29 y en las líneas DRH y CH fue 0,23, mientras que para hematocrito fueron 0,21, 0,19 y 0,13. La estimación de la correlación genética entre hematocrito y HPG fue más baja en la línea DRH (0,76) y más alta en IRH (0,97) (Woolaston y Piper, 1996). En tanto, en estudios con la raza Romney Marsh, frente a un desafío natural a *H. contortus*, se reportó una correlación negativa y favorable entre HPG y peso de vellón (-0,15 ±0,18) y correlación de -0,29 ± 0,22 para HPG y peso corporal (Bisset et al., 1992).

La base de la resistencia está en la respuesta inmunológica, y principalmente en la respuesta inmune adquirida, que es responsable por la diferencia entre las líneas divergentes (McClure, 2000). Entre líneas, se ha descripto que la diferencia se explicaría principalmente por dos componentes: el reconocimiento del antígeno y la producción de citoquinas (Stear et al., 2007). Por eso la evaluación de las líneas ocurre luego de los cinco meses de edad donde la respuesta inmune adquirida ya está completamente desarrollada (Eady et al., 2003; Castells, 2008). El bajo desafío parasitario y exposiciones continuas a los parásitos estimulan el sistema inmune a mantener una inmunidad efectiva (McClure, 2000).

En estudio con corderos de las líneas divergentes genéticamente de CIEDAG, Escribano et al. (2019) encontraron que la respuesta inmune de los animales susceptibles frente a una infestación ocurre más tardíamente juntamente con una respuesta retardada del tipo Th2 (mediada por citoquinas, IL-4 IL-5 y IL-13), lo que no contribuye a eliminar el parásito tempranamente. Los animales resistentes presentaron una fuerte respuesta inmune local y sistémica específica, con niveles altos de IgA en saliva y plasma al principio de la infestación, manteniendo constante eses niveles durante el periodo infestado.

En Uruguay se realizan evaluaciones genéticas (Corriedale y Merino) para las características de crecimiento, producción y calidad de lana, reproducción (sólo Corriedale) y resistencia a parásitos gastrointestinales, pero se desconoce la asociación y variación individual de esas variables con el consumo de alimento y la eficiencia de conversión de alimento en producto.

2.2 Costo de la parasitosis y la inmunidad

La infestación por *H. contortus* desencadena una respuesta inmune innata, posteriormente una respuesta adquirida. La penetración del parásito en los tejidos gastrointestinales del huésped activa los macrófagos y otras células con receptores para las moléculas de superficie celular, lo cual induce una respuesta inflamatoria general. La respuesta específica ocurre por liberación de citoquinas que estimulan la diferenciación de linfocitos T CD4, orientando la respuesta hacia los LTh2 que están asociados a la producción de IL-4, IL-5, IL-10, IL-13 y TNFα, las cuales estimulan la activación y proliferación de los eosinófilos, basófilos y mastocitos, y también de linfocitos B productores de IgA, IgE e IgG1, formando así una respuesta inmune adaptativa específica a nivel sistémico (Alba-Hurtado y Muñoz-Guzmán, 2013). La inmunidad a nivel de mucosa abomasal al parásito *H. contortus* ocurre por infiltrado de neutrófilos, eosinófilos, mastocitos y el sistema complemento, además de la presencia de IgA y IgE en el mucus (Sykes, 2010).

Seis costos potenciales para el huésped fueron descriptos por Colditz (2008) debido a la respuesta inmune. Cinco de ellos se atribuyen a factores fenotípicos "(1) aumento de la actividad metabólica, sistémicamente durante la fiebre y localmente durante la activación de las células del sistema inmune; (2) disponibilidad reducida de nutrientes debido a la anorexia y el comportamiento de enfermedad; (3) prioridades alteradas para la utilización de nutrientes durante la activación inmune que reducen la capacidad de muchos tejidos no inmunes para utilizar nutrientes; (4) cambio en el tamaño y la tasa de rotación de las reservas de células y proteínas del sistema inmune; y (5) daño a los tejidos del huésped causado por actividad inapropiada o excesiva del sistema inmune (inmunopatología) y el sexto costo es relacionado a genética", que es debido a un cambio en la expresión genética luego de la selección por resistencia a PGI (Colditz, 2008). En la selección por resistencia a PGI, se ha detectado que al seleccionar por mayor resistencia a PGI no se afecta el consumo de alimento entre líneas divergentes ya sea con presencia o ausencia de PGI y la explicación de la diferencia entre los genotipos puede estar asociada al metabolismo y utilización de los nutrientes por parte del organismo animal

(Liu et al., 2005a; Doyle et al., 2011; Doyle et al., 2014). Por otro lado, estudios que apuntan a una alta producción han reportado una baja resistencia a los PGI (Rauw et al., 1998), que están de acuerdo con la teoría de asignación de recursos (Beilharz et al., 1993). A pesar de que es deseable contar con animales con menores requisitos de mantenimiento para una mejor eficiencia alimenticia, la consecuencia puede no ser favorable pues puede reducir la condición física y llevar a individuos con mayor susceptibilidad a sufrir de estrés y enfermedades (Rauw et al., 1998). En contraparte (Greer, 2008) se ha indicado que el animal en crecimiento podría priorizar la adquisición de inmunidad frente al crecimiento. O sea, los nutrientes que exceden a la demanda por mantenimiento podrían ser usados en generación de inmunidad, apostando a una estrategia de beneficio de largo plazo. Los animales en crecimiento cuando presentan limitantes en recursos, priorizan en su fase de adquisición de inmunidad, i) el mantenimiento de las proteínas, ii) adquisición de inmunidad, iii) aumento de las proteínas en el cuerpo y iv) ganancias de peso, en la fase de crecimiento pero cuando es para la expresión de inmunidad, la prioridad de los animales es i) mantenimiento de las proteínas, ii) aumento de las proteínas y iii) expresión de la inmunidad para después iv) ganancias de peso (Coop y Kyriazakis, 1999). Lo que refuerza la teoría de asignación de recursos, siempre la prioridad de los animales estará en el mantenimiento y después de acuerdo a lo que tengan de recursos y su fase de vida priorizan las demás etapas.

La resistencia genética a PGI podría implicar un costo de energía y proteína mayor en los animales resistentes, además de que a veces se ha registrado un menor desempeño productivo en especial de producción de lana debido a la competencia por aminoácidos (Morris et al., 2000; Eady et al., 2003). Liu et al., (2005b) encontraron que animales jóvenes genéticamente más resistentes, al estar parasitados poseen una mayor demanda de nutrientes que aquellos más susceptibles, situación que no se observó en animales adultos. En ese contexto, los corderos infestados con *T. colubriformis* y *Ostertagia circumcincta* necesitaron un aporte extra de proteína de 6,5 g/día cuando estaban en mantenimiento y parasitados, y aproximadamente 9 g/día para los animales parasitados con ganancias de peso de 100 g/día. A su vez el requerimiento adicional de energía fue de 0,71 a 1,76 MJ/día variando con el peso corporal y ganancia, el cual disminuyó a medida que los animales ganaban peso, y nuevamente con animales de18 meses de edad esa diferencia en requerimientos no fue observada con o sin parásitos (Liu et al., 2005b).

Aún se desconoce claramente que pasa con los genotipos en términos de costo por un sistema inmune más resistente, y quizás el mejor beneficio que pueda justificar el costo

inmunitario de la resistencia a los PGI sea la evidencia que los animales resistentes no presentan el efecto de la anorexia causada por las parasitosis (Greer et al., 2005; Liu et al., 2005b; Doyle et al., 2014) que contribuye entre 40-90% de las pérdidas productivas (Sykes y Greer, 2003). En simulaciones con corderos Romney de líneas seleccionadas para resistencia, se ha encontrado que a largo plazo la resistencia presenta una ventaja para las demás generaciones, explicada por la reducción de contaminación de los pastos. En los datos actuales de esos corderos Romney se encuentra una correlación negativa (favorable) entre HPG y peso vivo de -0,27. Esos trabajos en Nueva Zelanda, con las líneas Romney, vieron que cuando los animales de la línea resistente se mantenían en potreros sólo con la misma línea no se veían diferencias en peso del vellón en el primer año, pero cuando se juntaron los animales resistentes y control no seleccionados, los resistentes presentaron 340 g menos de producción de lana, indicando que cuando están en un mismo potrero hay una infestación cruzada y un mayor estímulo antigénico llevando a un posible mayor costo metabólico por parte de los animales resistentes (Morris et al., 1997).

Parece tener una gran relación el suministro de nutrientes con la mejor respuesta inmune, y esta con la productividad que se espera de los animales. El mantenimiento de la inmunidad contra los PGI se ha estimado de 15% en pérdidas productivas (Sykes 1994), y 16% en la eficiencia de utilización de los nutrientes (Greer et al., 2005). En Merinos resistentes a PGI, con infestación con *T. colubriformis* y *O. circumcincta*, se encontró que los requerimientos de energía (EM) y proteína metabolizable (PM) aumentaron en 30% y 18% respectivamente cuando estaban en crecimiento y aproximadamente 30 kg, mientras que cuando presentaban 60 kg y en mantenimiento esos requerimientos fueron de 7% para EM y PM. Si bien, parece tener un costo esa mejor respuesta inmune, se debe llevar en consideración que existe el costo del desvío de nutrientes y reparación del tejido gastrointestinal dañado frente a una parasitosis (Greer, 2008).

2.3 Eficiencia de conversión de alimento en producto

La eficiencia de conversión alimenticia es la cantidad de alimento transformada en producto, puede ser calculada a partir de: conversión alimenticia (CA) que es una medida muy utilizada para cálculo de eficiencia, y se calcula a través de los kilos de alimento por unidad de ganancia de peso (consumo/ganancia). Esta medida ha sido por años la principal manera de calcular la eficiencia, sin embargo, la selección por esta característica puede generar animales con mayor peso adulto, aumentando el consumo del alimento y como consecuencia los costos en alimentación (Ferreira et al., 2015). El

consumo residual del alimento (CRA) es otra medida para calcular la eficiencia de conversión y que tiende a seleccionar animales de menor consumo y menores requerimientos de mantenimiento lo cual no presenta relación fenotípica con ganancia de peso corporal y tamaño del animal (Koch et al., 1963; Campos et al., 2012; Cantalapiedra-Hijar et al., 2018).

2.4 Consumo residual del alimento (CRA)

El consumo residual es una medida alternativa utilizada para cálculo de eficiencia alimenticia, distinta a la CA, utiliza la ganancia de peso como curva de crecimiento de los animales y se basa en el consumo individual y peso metabólico. Por lo tanto, el CRA requiere la determinación de consumo individual diario, peso vivo y ganancia de peso de los animales periódicamente, y eventualmente mediciones de ultrasonido (área de ojo de bife y espesor de grasa). Esto implica que el cálculo de consumo residual sea un proceso costoso en equipos, estructura y mano de obra, lo cual condiciona el número de animales que se pueden medir.

Descrito por primera vez por Koch et al. (1963), se define como la diferencia entre el consumo estimado y el consumo observado, en base a las exigencias de mantenimiento y crecimiento (ganado de carne) o mantenimiento y producción de leche/kg ternero destetado (en ganado lechero), en un período determinado de tiempo. De otra manera, también el CRA es la diferencia entre el consumo real y la cantidad de alimento que un animal tiene que consumir basado en su peso vivo metabólico promedio y tasa de ganancia de peso (Ferreira et al., 2015). Cuando las ingestas reales son menores que los valores de ingesta esperados (CRA negativo), el animal se considera más eficiente. Por el contrario, cuando las ingestas reales son mayores que los valores de ingesta esperados (CRA positivo), el animal se considera menos eficiente. Con el consumo residual es posible obtener animales más eficientes sin necesariamente modificar vía selección el tamaño adulto o ganancia de peso de los animales (Ferreira et al., 2015).

Esta característica en bovinos de carne presenta moderada heredabilidad, varía entre 0,29 a 0,46 (Koch et al., 1963; Archer et al., 1998; Arthur et al., 2001), lo que significa que existe variabilidad genética y sería posible seleccionar por esta característica y lograr moderado progreso genético en la misma. Para ovinos se han encontrado valores variables de heredabilidad que van desde 0,11 (Cammack et al., 2005) hasta 0,26 (Snowder y Van Vleck, 2003).

Para la prueba de CRA, es necesario que se pueda medir el consumo individual diario de los animales y el peso vivo de forma periódica. Actualmente existen equipo y

sistemas automáticos como GrowSafe Systems® (Canadá) o Intergado® (Brasil) que las pueden realizar. Esos sistemas permiten una alta eficiencia en la colecta de los datos, disminuyendo la mano de obra, debido que, por su sistema automatizado identifica los animales a través de una caravana individual electrónica, la cual es reconocida por el sistema y envía los datos de consumo hacia una computadora central. La duración de la prueba para estimar CRA se ha establecido entre 40 y 60 días (Cockrum et al., 2013). Recientemente, se ha establecido que 2-3 estimaciones de peso vivo por semana, y 35 días de medición de consumo (post acostumbramiento) serían suficientes para estimar CRA (Paganoni et al., 2017).

Además del periodo de la prueba para medición de CRA, los animales necesitan un período de adaptación al alimento y a las instalaciones, que en general se ha encontrado de siete a catorce días (Cammack et al., 2005; Redden et al., 2011; Cockrum et al., 2013; Redden et al., 2013; Paganoni et al., 2017). Los días necesarios para que el consumo se estabilice fueron estudiados por (Macleay et al., 2018) durante una prueba de 35 días de consumo individual de carneros Merino, durante 4 años en diferentes edades de los animales. Los animales a la edad de 160-340 días (posterior al destete), 410-550 (borregos) o 530 días para más edad (edad adulta), estabilizaron el consumo sin grandes variaciones aproximadamente a los 10 días de consumo con dos semanas de acostumbramiento. Las correlaciones entre las edades en las pruebas fueron 0,95 en la edad adulta con 27 días, 22 días a los borregos y 21 días para los animales posteriores al destete. Se han utilizado para las pruebas de CRA en ovinos de 35 a 75 días de mediciones, en corderos con menos de un año, y registros de peso una vez a la semana (Cammack et al., 2005; Redden et al., 2011; Redden et al., 2013; Paganoni et al., 2017).

A su vez Cockrum et al. (2013), estudiaron la relación del tipo de nacimiento (único o mellizos) y edad del animal al llegar a la prueba de eficiencia, utilizando dos razas una lanera y otra carnicera, y encontraron que no hay efecto de la edad, biotipo ni tipo de nacimiento. Otros estudios comprueban que la edad no tiene influencia en la eficiencia pero sí, el alimento utilizado (Cantalapiedra- Hijar et al., 2018) o cuando se ofrecen dietas *ad libitum* o restringidas (Cantalapiedra- Hijar et al., 2009; Redden et al., 2011; Redden et al., 2013). El incluir área de ojo de bife (AOB) y espesor de grasa (EG) en el modelo no ha demostrado diferencias importantes en el ajuste, se han encontrado valores de R^2 0,43 (Cockrum et al., 2013) o 0,64 (Redden et al., 2013) cuando el modelo incluye apenas peso metabólico y ganancia de peso vivo, y 0,45 o 0,65 respectivamente, cuando en el modelo está presente AOB y EG. Pardo y Papaleo (2018) con mediciones al

inicio, medio y final de una prueba de 64 días encontraron una mejora de 2% (R^2 = 0,66) incorporando al modelo AOB y EG comparado con el modelo original de Koch et al. (1963). Lo que significa que se pueden excluir estas dos características sin comprometer la estimación del CRA. En contrapartida, no se encontró bibliografía que indicará ventajas o desventajas de la inclusión de la producción de lana en las pruebas de eficiencia de ovinos.

Otra característica importante en medir el consumo individual y residual del alimento con forraje y selección para CRA, es la potencial relación que tiene ésta con la emisión de gases de efecto invernadero (particularmente metano entérico). La correlación entre el CRA y emisión de metano por ejemplo, es de 0,76 a 0,90 (Paganoni et al., 2017), siendo también importante para la producción de metano el comportamiento alimenticio y la diferencia que hay en su producción con dieta concentrada y forrajera, lo que se da debido a los cambios en la digestión y fermentación ruminal, microbiota ruminal y tasa de pasaje (Johnson et al., 1994).

3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

La búsqueda de animales robustos o resilientes y eficientes en el sistema de producción, consumiendo menor cantidad de alimento con un mismo rendimiento productivo es una alternativa para afectar la rentabilidad de sistemas productivos pastoriles en climas templados. Trabajos previos a este, encontraron que al seleccionar por consumo residual no se afectan las características de la canal, ganancia de peso, área de ojo de bife y peso del vellón (Cockrum et al., 2013; Redden et al., 2014; Pardo y Papaleo, 2018). Además, tener animales más eficientes (por CRA), no implica necesariamente cambios en peso vivo y ganancia de peso (Muro- Reyes et al., 2011; Redden et al., 2011).

La eficiencia de conversión varía entre animales y aún no se tiene claro cuales procesos son los más importantes en la variación del CRA. Los procesos de digestión deberían ser más estudiados principalmente en dietas con forraje. Algunos autores exponen que la digestión (modelo del barril) es uno de los principales factores determinantes de la asignación de recursos que pueden tener efectos negativos en la eficiencia, cuando ocurren fallas en el proceso de consumo o digestión (Rauw, 2012). Sin embargo Cantalapiedra- Hijar et al. (2018) en una revisión de las características determinantes para la variación de la eficiencia animal indican que quizá la alimentación y la capacidad de digestión pueden tener efectos menores en la variación de la eficiencia

y son respuestas correlacionadas. Asimismo, sugiere que los animales más eficientes (CRA negativo) tienen una tasa metabólica de energía significativamente menor independientemente de la reducción de ingesta. Esta menor producción de calor puede deberse a una disminución en el recambio de proteínas y una mayor eficiencia de la producción de ATP en las mitocondrias, también otros procesos serían importantes en la determinación de los animales eficientes, por ejemplo, el metabolismo de lípidos, la inmunidad y la respuesta al estrés. Los procesos metabólicos que consumen energía podrían ser el determinante para la variación de la eficiencia animal. Se puede pensar que los animales resistentes a PGI utilizan más proteínas, gastan más energía en sus procesos, así pueden presentar mayor CRA (menos eficientes) en comparación a los animales susceptibles y esto ser dependiente del desafío parasitario.

La selección por el CRA reflejaría diferencias en la eficiencia del uso del alimento para mantenimiento, crecimiento y otras funciones, estando asociado con el consumo del alimento, se puede esperar que animales más eficientes al mismo nivel productivo coman menos. Los estudios del CRA en ovinos se han establecido con animales libres de enfermedades, y por eso se desconoce la relación que tiene el efecto de un menor consumo con la repartición de nutrientes frente a un desafío para el organismo en mantener la productividad mientras tenga que formar una respuesta inmune eficiente. Seleccionar animales con menores consumos a través del CRA puede ser deseable, pero puede afectar la robustez de los animales y así tornarlos más susceptibles a enfermedades.

Lo establecido previamente indica, que podría haber un antagonismo entre la búsqueda de animales más robustos y más eficientes (según CRA), y que los animales seleccionados para una mayor resistencia a PGI destinarían más nutrientes, en especial proteína, y energía para su mejor respuesta inmune y eso podría llevar a una menor eficiencia (según CRA) por parte de esos animales. Por lo tanto, se considera de interés la evaluación del impacto de la selección genética por resistencia a PGI en el consumo residual del alimento, en ambientes contrastantes (con y sin desafío parasitario).

4. HIPÓTESIS

Nuestra hipótesis fue que los animales genéticamente resistentes a PGI no presentarían diferencias en la ingesta de alimento, el desempeño productivo y la eficiencia de conversión alimenticia en comparación con los animales susceptibles, cuando están libres de infestación de parásitos. Sin embargo, tendrían menor conversión de alimento

(CA) y mayor consumo residual del alimento (menos eficientes según CRA) frente a un desafío con el parásito *Haemonchus contortus*.

5. OBJETIVOS

5.1 General

- Estudiar la relación entre la eficiencia de conversión, el consumo individual y residual del alimento con la resistencia genética de corderos a los parásitos gastrointestinales (PGI).

5.2 Específicos

- Estudiar consecuencias fenotípicas por la selección divergente para resistencia a PGI en consumo individual del alimento según grado de infestación por *H. contortus*.
- Estudiar consecuencias fenotípicas por la selección divergente para resistencia a PGI en eficiencia de conversión de alimento y en consumo residual del alimento (CRA) según grado de infestación por *H. contortus*.
- Evaluar diferentes duraciones de las pruebas para la determinación de consumo residual del alimento.

6. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Para desafiar las hipótesis de trabajo y cumplir con los objetivos planteados se realizaron dos pruebas de consumo de alimento, donde se determinó la eficiencia de conversión del alimento (consumo residual del alimento y eficiencia de conversión) con y sin desafío de larvas L3 del género *H. contortus*, en corderos Corriedale de aproximadamente un año de edad, de líneas divergentes en resistencia a PGI provenientes de CIEDAG. El experimento se realizó en la Unidad Experimental La Magnolia de INIA, en una estructura de corrales equipados con comederos y balanza de peso vivo, que utilizan un sistema automático para medir consumo individual y peso vivo de los animales, a través de la identificación por medio de un chip en la caravana. La alimentación ofrecida fue henilaje de alfalfa *ad libitum* durante las dos pruebas del experimento. A través de los datos de consumo individual y peso vivo es que se determinaron las variables estudiadas.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

Los protocolos aplicados fueron aprobados por CEUA de INIA con los números INIA2018.2 e INIA2018.3. El trabajo se realizó en el marco de las actividades de dos proyectos: 1) Producir con rumiantes menores más eficientes, adaptados y robustos (RUMIAR – CL38, financiación INIA) y 2) Small Ruminants breeding for efficiency and resilience (SMARTER, financiación H2020). El trabajo de campo del proyecto se realizó en la Unidad Experimental La Magnolia del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, ubicada en el departamento de Tacuarembó-Uruguay (-31º42'32" y -55º49'36").

7.1 Diseño experimental

El diseño experimental fue en parcelas subdivididas donde se incluyeron en el bloqueo el sexo, peso vivo, línea genética (resistente o susceptible) y el padre del cordero.

7.2 Animales experimentales y manejo

Se utilizaron 67 corderos, (29) resistentes y (38) susceptibles de la raza Corriedale, generación 2017 (347±14 días de edad al comienzo del ensayo), del programa de mejoramiento genético de animales resistentes a parasitosis (núcleo Centro de Investigación y Experimentación Dr. Alejandro Gallinal-CIEDAG, Ruta 7 km 140, Florida), los cuales presentaron diferencias en las determinaciones de HPG dos y tres entre las líneas de selección resistente y susceptible. De acuerdo con el protocolo utilizado en CIEDAG, descripto por Castells (2008) los corderos son evaluados en el post destete de acuerdo al dato de HPG, hematocrito, peso vivo y a la primer esquila peso del vellón. Durante ese primer año de vida son realizados tres HPG (HPG1, HPG2 y HPG3), los cuales son utilizados para la evaluación genética.

Los animales resistentes en HPG2 tuvieron 3.232 de promedio de conteo de huevos y en el HPG3 9.44, para los susceptibles el dato de HPG fue de 4.431 y 2.916 respectivamente. Estos animales, se encuentran dentro de la evaluación genética poblacional de la raza Corriedale, y cuentan parcialmente con información genealógica, fenotípica y genética de variables de producción y calidad de lana, crecimiento, producción de peso vivo, conformación (ultrasonografía), salud (resistencia a PGI, FAMACHA®).

En el mes de junio, luego del muestreo de HPG3, los corderos fueron trasladados a la UE La Magnolia para la evaluación de consumo individual, comportamiento ingestivo, peso vivo y evolución de ganancia de peso. A cada animal se le colocó una caravana electrónica (RFID) para su identificación, los mismos ocuparon cinco corrales

de 150 m^2 (cada corral, con piso de concreto, balastro, y tierra) con acceso a sombra, comida y agua *ad libitum*, durante ambas pruebas.

El período de acostumbramiento fue de 14 días, en los cinco primeros días estuvieron en un potrero con pastura natural y agua *ad libitum*, durante la noche se quedaban en un encierro (10 m^2 por animal) con agua. En las primeras horas de la mañana se les ofrecía el henilaje de alfalfa, el mismo alimento que fue utilizado durante la prueba de consumo y durante la tarde los animales quedaban en un potrero de campo natural.

Cuando el 90% de los animales aprendieron a comer el fardo, fueron ingresados al corral de medición de consumo. Previo a la entrada, se dosificó a los corderos con antiparasitario para ovinos de suspensión oral, una combinación de Abamectina 0.1% más Derquantel 1% (Startect®), con la dosificación indicada 2mg/kg peso vivo, para nematodos de abomaso e intestino delgado. Diez días después de la dosificación se realizó un monitoreo de HPG individual para chequeo de eficacia de la droga, y algunos animales fueron dosificados nuevamente con Triton® (dosis de 50mg/ kg de peso vivo). Una vez dentro de los corrales, cada animal fue monitoreado diariamente, de forma visual y por medio de un software, que identificaba la entrada del cordero al comedero y al bebedero (el cual estuvo asociado con una balanza para el peso de los animales) (Figura 2). Esto permitió el control de consumo y peso vivo de los animales de forma diaria. Todos los animales se adaptaron al alimento y a las instalaciones.

Figura 2. Comederos automáticos utilizados para medición de consumo en ovinos (izquierda). Plataforma de pesaje con balanza automática a la entrada de los bebederos (derecha).

Cada corral tenía cinco equipos de medición individual de consumo y dos plataformas de pesaje, los cuales estaban equipados con lector digital de caravanas,

balanza de precisión, y conectados a una computadora central, esto permitió el control de consumo y peso vivo de los animales de forma diaria. El equipamiento y software fueron provistos por la empresa Intergado (Belo Horizonte, MG, Brasil). La alimentación fue henilaje de alfalfa húmedo (Festín®), picado a 5-8 cm y ofrecido *ad libitum* a las 8:00, 13:00 y 17:00.

Fueron tomadas muestras del alimento, una vez a la semana tomando una muestra por bolsa de alimento suministrado a los animales en ese día, las mismas se secaron en estufa de aire forzado por 72 h a 60º C y por diferencia de peso se calculó el porcentaje de materia seca (MS). Las muestras secas fueron molidas (1 mm) en INIA Tacuarembó, agrupadas cada tres semanas, se formó un pool para posterior análisis de valor nutritivo en el Laboratorio de Nutrición Animal de INIA La Estanzuela. La proteína cruda (PC) se analizó de acuerdo con el método A.O.A.C. (1995). Para análisis de FDA (fibra detergente ácida) y FDN (fibra detergente neutra) se utilizó el método ANKOM Technology Method.

Para el cálculo de digestibilidad de la materia orgánica (DMO) se utilizó la ecuación: DMO %= 88,9- (FDA% x 0,779) (Suleyman y Mucahit 2015). La energía metabolizable se calculó a partir de la ecuación: EM(Mcal/kg) = [(4,4* DigDMO/100) *0,82] (ARC, 1980). A partir del análisis químico el alimento utilizado está compuesto por 38% de Materia seca, 20,5% PC, 2,2 Mcal/kg de EM, 42,9% FDN, 0,4% FDA.

7.3 Prueba 1: Consumo residual del alimento sin desafío parasitario

En la prueba uno, se utilizaron 67 animales 29 resistentes (34,0 ± 6,3 kg) y 38 susceptibles (33,5 ± 5,3 kg) que fueron sorteados según sexo (separados entre corrales, dado que los machos no estaban castrados), padre y peso vivo y asignados a uno de cinco corrales. Cada corral contaba con cinco equipos de medición individual de consumo, los cuales estaban equipados con un lector digital de caravanas, una balanza de precisión, y estaban comunicados por radiofrecuencia a una computadora central. La duración de esta prueba fue de 58 días (agosto a octubre) de mediciones (incluido el período de acostumbramiento). Adicionalmente, los animales fueron pesados individual y automáticamente al momento de tomar agua. De esta forma, se registró información individual y diaria de consumo de alimento, comportamiento ingestivo y peso vivo durante toda la prueba. Los equipos utilizados fueron provistos por la empresa Intergado (Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil).

Se determinó el área de ojo de bife y el espesor de grasa al inicio y final de la prueba. El área de ojo de bife (AOB) es un parámetro objetivo en la evaluación pre-faena de las canales de los animales, que corresponde al área de la sección transversal del músculo *longissimus dorsi* y que se mide siguiendo el contorno de este músculo entre la 12° y 13° costilla. Los animales fueron escaneados con un escáner de tiempo real Aloka SSD 500V W/2X (Tokyo, Japan) utilizando una sonda lineal de 3.5 MHz (UST-5511U-3.5, 18 cm, Aloka, Tokyo, Japan). El espesor de grasa (EG) es una medida realizada sobre la sección transversal en el mismo lugar que el AOB, en forma perpendicular al borde externo de la grasa y en general a nivel de la cuarta parte del extremo distal del músculo *longissimus dorsi* respecto a la columna vertebral (más alejado de la apófisis espinosa de la vértebra correspondiente). La determinación se realizó al mismo momento que el AOB. Una vez que se obtuvo una imagen satisfactoria en el sitio, se capturó en video (VST-NTSC). Posteriormente, AOB y EG se midieron mediante análisis de imagen con BioSoft Toolbox®II para Beef C 2007 - 2012 (software Biotronic, Inc., Aspen, IOWA, EE. UU.).

7.4 Prueba 2: Consumo residual del alimento con desafío parasitario

A continuación de la prueba uno utilizando los mismos 67 animales de la primera prueba 29 resistentes (39,4 ± 7,0 kg) y 38 susceptibles (39,8 ± 6,3 kg). En este período, se mantuvieron las mediciones de consumo individual, peso vivo, determinación de AOB y EG en inicio y final de la prueba, y el desafío parasitario se realizó mediante infestación artificial de *Haemonchus contortus*. Considerando que los animales ya estaban acostumbrados por la prueba 1, la prueba 2 empezó como día cero (D0), con la primera infestación con larvas L3, seguido por D1 y D2 con infestación parasitaria. Esa prueba se la dividió en 2 períodos, 2.a (D0 al D23) y 2.b (D24 al D42), el período total fue de 42 días.

7.5 Infestación parasitaria

Los animales durante la prueba dos fueron desafiados con 6.000 larvas, en los días D0, D1 y D2, L3 de *H. contortus*, parásito de abomaso de los ovinos. Para el monitoreo y evaluación de la infestación se utilizaron dos métodos, el conteo de huevos de parásitos por gramo de heces (HPG) un método cuantitativo (Fiel et al., 2011), realizado en el Laboratorio de Parasitología de INA Tacuarembó, y FAMACHA® (utilizando la cartilla específica para esa determinación), método que evalúa diferentes grados de anemia en el animal (1 a 5 grados) por medio de la evaluación de la coloración de la mucosa ocular. Ambos métodos de forma conjunta o aislada fueron considerados para remover y tratar a un animal de la prueba dos, de forma de evitar cualquier malestar en los animales.

7.5.1 *H. contortus* en un protocolo de infestación artificial

Molento et al. (2011) recomienda utilizar de 2.000 a 10.000 larvas L3, para una infestación segura y eficaz, sin que ocasione prejuicios a los animales. Se destaca que la nutrición tiene una gran influencia en el desarrollo y en las consecuencias del parasitismo. Los animales que reciben una dieta de alta calidad (como la brindada en este experimento) pueden presentar una mayor capacidad para soportar las consecuencias adversas del parasitismo, resiliencia (Coop y Kyriazakis, 1999).

7.5.2 Obtención de las larvas L3

La cepa pura, monoespecífica, del parásito fue obtenida de un borrego Corriedale presente en el Secretariado Uruguayo de la Lana. Las larvas fueron recuperadas a través de un cultivo de materia fecal. A partir de esta muestra las larvas L3 recuperadas se utilizaron para infestar otros tres corderos (donadores) para generar una cantidad de larvas suficiente para la infestación de los 67 animales de la prueba dos.

7.5.3 Cultivo y recuperación de larvas L3

Se utilizó la técnica de Henriksen y Korsholm (Fiel et al., 2011), el objetivo de esta técnica es promover la maduración y eclosión de los huevos, y la evolución de las larvas hasta el tercer estadio (L3 infectante). Se colectó la materia fecal de los corderos donadores (tres) infestados, por medio de colectores de heces (Figura 3), que se prenden a la parte posterior de los animales. La materia fecal almacenada en el interior de los colectores se recolectó tres veces al día.

Figura 3. Corderos donadores para cultivos de larvas.

De cada cordero se juntaron las muestras y homogeneizaron en un pool de materia fecal. De este pool se extrajeron submuestras de 250 g, las cuales se mezclaron con 250 g de vermiculita en vasos de plástico descartables. Durante10 días este material estuvo en

estufa a temperatura de 25°C (Figura 4) y de forma de mantener la muestra húmeda pero no saturada de agua se le agregó diariamente 10 ml de suero fisiológico en el vaso.

Figura 4. Cultivos de materia fecal en estufa.

Pasados 10 días, el vaso de cultivo se dio vuelta en una placa de Petri, pasando el contenido del vaso a la placa. La misma fue completada con suero fisiológico y mantenida a temperatura ambiente. Luego de aproximadamente 4 horas se colectaron las larvas, en un tubo Falcon de 50 cm^3. Esos tubos quedaron a temperatura ambiente y las larvas generadas fueron contadas. La alícuota para la infestación fue determinada por la cantidad de larvas L3 contadas en una medida de 0,5 cm^3. En una placa de Petri con una alícuota de 0,5 cm^3 del líquido de un tubo de Falcon de 50 cm^3, se observó la movilidad de las larvas, y mediante una gota de Lugol se causó la muerte de las larvas para su posterior conteo. Al contar con las larvas y volumen total se dividió por las 6.000 L3 necesarias para infestar cada animal. Como resultado la dosis diaria fue de: Día 0= 5 cm^3, Día 1= 5 cm^3 y Día 2= 5 cm^3, aproximadamente 2.000 larvas de *H. contortus* por día.

7.6 Infestación de los animales

Los corderos machos y hembras (67 animales), con HPG cero, recibieron un total de 6.000 larvas L3 por cordero. Para la infestación por vía oral, se realizaron tres "dosificaciones" con un pool de larvas de *H. contortus* (Día 0=2.000, Día 1=2.000 y Día 3=2.000 larvas) por cada animal.

7.7 Control infestación

Luego del día 0 (D0), fueron realizados controles por el método FAMACHA® (días 10, 17, 23, 30, 37 y 42 de la prueba 2). Los corderos que presentaron grado 4 o 5 recibieron tratamiento con antihelmíntico Startect® 2mg/ kg peso vivo (fueron retirados de la prueba y monitoreados en subsiguientes días. Pasados 10 días (día10) de la primera dosis de la infestación se empezó a monitorear el resultado de la infestación artificial

mediante el conteo de HPG individual de los corderos, mediante la técnica de McMaster modificada, la cual posteriormente se realizó en los días 23, 30, 37 y 42 de la prueba dos.

Al final de los 42 días de la prueba dos, todos los corderos fueron dosificados con antihelmíntico Raider Plus® (0.2% de Ivermectina y 8% de Levamisol) de acuerdo con su peso corporal (dosis 0,2 mg/kg de ivermectina, 8 mg/kg de levamisol y 5 mg/kg de albendazol), y retornaron a CIEDAG para seguimiento del protocolo de evaluación genética. En el cuadro 1 se presenta un diagrama con las actividades principales en las dos pruebas.

Cuadro 1. Diagrama de actividades, prueba 1 del 10/08 al 09/10/2018 y prueba 2 del 13/10 al 24/11/2018.

	Fecha	Observación	Medición	
Acostumbramiento	10/8/2018	Acostumbramiento al alimento		
	15/8/2018			
	16/8/2018	Acostumbramiento a las instalaciones		
	23/8/2018			
Prueba 1	30/8/2018	D0 Prueba 1	Consumo Peso	
	15/9/2018	D16		AOB y EG
	9/10/2018	D40 fin Prueba 1		AOB y EG
Prueba 2	13/10/2018	D0 Infestación 2.000 L3	Consumo y peso individual	Famacha
	14/10/2018	D1 Infestación 2.000 L3		
	15/10/2018	D3 Infestación 2.000 L3		
	23/10/2018	D10		HPG y Famacha
	30/10/2018	D17		Famacha
	5/11/2018	D23		HPG y Famacha
	12/11/2018	D30		HPG y Famacha
	19/11/2018	D37		HPG y Famacha
	23/11/2018			AOB y EG
	24/11/2018	D42 fin Prueba 2		HPG y Famacha
	26/11/2018	Dosificación antihelmíntica		

8. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño experimental utilizado fue en parcelas subdivididas, donde se sortearon los corderos por sexo, peso vivo y padre entre cinco corrales de prueba. El sorteo por sexo dividió a los corderos machos no castrados y las hembras cerca de su primer año en etapa reproductiva, el peso vivo se incluyó para disminuir el efecto dominancia entre los animales y el sorteo por padre fue para que en todos los corrales hubiese hijos de los diferentes padres.

8.1Análisis de características fenotípicas

El modelo utilizado para el cálculo del consumo residual del alimento (CRA) fue el siguiente (Koch et al., 1963),

$$y= PV^{0,75} + GMD + EM + CORRAL + \varepsilon\ (CRA);\ \text{donde}$$

y= consumo de materia seca del individuo (CMS, consumo en materia verde*por proporción de materia seca, 0,38), el consumo es el promedio diario del consumo durante toda la prueba, $PV^{0,75}$ es el peso vivo metabólico (es el peso promedio de la prueba elevado a 0,75 como covariable), GMD es la ganancia diaria proveniente de la regresión lineal de todos los pesos (g/día, covariable), EM es el efecto fijo de la edad de la madre

(4 niveles), CORRAL es el efecto fijo del corral (incluye el efecto del sexo, 2 niveles, machos y hembras) y el ε error residual que es el CRA. De esta forma se obtuvo el CRA para cada individuo (cordero) como la diferencia entre el consumo de materia seca observado de alimento y el consumo de materia seca esperado, CRA (error/residuo de la fórmula previa).

La GMD fue calculado por regresión lineal del peso vivo diario durante el período de cada prueba, el modelo de la ecuación de regresión corresponde:

$$y = \beta 0 + \beta 1X; \text{ donde}$$

y= peso vivo diario (kg), β0= intercepto de regresión, β1= ganancia media diaria (kg/día); X= día experimental.

La conversión alimenticia fue calculada CA= CMS observado (kg/día) / GMD (kg/día), expresada en kg MS/ kg ganancia.

Seguidamente se analizaron las variables de respuesta (CMS, CA, GMD, $PV^{0,75}$, AOB y EG) mediante un modelo lineal general que incluía los efectos fijos de EM, CORRAL y Línea de HPG (R y S). Luego fue estudiado el efecto de la Línea HPG sobre el CRA. Además, los datos de HPG en diferentes fechas (10, 23, 30, 37 y 42 días) se normalizaron mediante la siguiente transformación logarítmica: Log HPG = Log (HPG + 100), y se analizaron como rasgos únicos con el mismo modelo. El test de Tukey fue utilizado como comparativo de las medias con un alfa de 5% de significancia.

Adicionalmente, para CA en el período dos (CA2), se utilizó un análisis bayesiano basado en el modelo Markov Chain Monte Carlo (MCMC) mediante el procedimiento GENMOD del programa SAS. Este análisis complementario se realizó dada la importancia de dicha característica y que en análisis preliminares el efecto de las líneas R y S sobre el CA2 era significativo o no dependiendo del número de animales seleccionados para el análisis (resultados no mostrados), conjuntamente para poder enriquecer la discusión.

Para este análisis se generó una cadena con un millón de iteraciones descartando las primeras 100,000 muestras (burn in) y con un intervalo de muestreo de 20, de modo que se mantuvieron un total de 45,000 muestras. En base a la distribución marginal posterior de las diferencias entre líneas (R-S) se calculó la media (PMedia) y el desvío estándar posterior y el intervalo de credibilidad más corto con un 95% de probabilidad de contener el verdadero (DPA) Además, se estimaron las probabilidades de que la CA2 de la línea R fuera inferior que la S en 0,5, 1 y 1,5 kg MS/kg ganancia. Los análisis

estadísticos se realizaron utilizando el software SAS programa versión 9.4 para Windows (Copyright © 2012 SAS Inst., Inc., Cary, NC).

Se eliminaron cuatro animales del conjunto de datos, dos presentaron FAMACHA © 4 (anémico) en D37 y se dosificaron, y los otros dos se consideraron atípicos para la eficiencia de conversión alimenticia (CA atípico con r-cuadrado para GMD menor que 0.38).

8.2 Análisis de evaluación de tiempo necesario para la prueba del CRA

Se evaluaron cuatro períodos separando en días totales y semanas (Cuadro 2), durante la prueba sin infestación parasitaria. Se utilizaron dos modelos:

a) consumo (P1, P2, P3 y P4) = $PV^{0,75}$ + GMD (regresión peso promedio diario por días) + CORRAL+ ε (CRA)

b) medidas repetidas por semana de los 4P (P1', P2', P3', P4')- consumo (media por semana) = $PV^{0,75}$+ ganancia de PV (diferencia de peso medio entre una semana y otra/7) + semana + CORRAL + ε (CRA)

El análisis de correlación de los CRA provenientes de los diferentes modelos y períodos se realizó utilizando los test de Pearson y Spearman (PROC CORR).

Cuadro 2. Períodos evaluados para la prueba de tiempo necesario para medir el CRA.

P1	P2	P3	P4	P1'	P2'	P3'	P4'
44 días	34 días	24 días	14 días	1-6 semanas	1-5 semanas	1-4 semanas	1-3 semanas

9. RESULTADOS

9.1 Línea de selección

El CRA no difirió entre las líneas de HPG en las dos pruebas realizadas (p>0,05), sin y con infestación. De igual manera no hubo diferencia estadística en consumo del alimento entre las líneas en las dos pruebas (p>0,05) (Cuadro 3). En relación con el consumo y peso metabólico, los animales R consumieron 7,5 kg de MS/100 kg de $PV^{0,75}$, mientras que en la prueba dos aumentaron a 7,7 kg de MS/100 kg de $PV^{0,75}$, mientras que los animales S mantuvieron el consumo de 7,4 kg de MS/100 kg de $PV^{0,75}$ en ambas pruebas.

La conversión alimenticia en la prueba sin infestación (uno) no difirió entre los animales R y S (p>0,05). Sin embargo, en la prueba con la infestación (dos) de *H. contortus* los animales R tendieron a presentar una CA más baja que los S, 8,0 y 11,1 respectivamente (p=0,074). Según el análisis bayesiano, la media posterior (PMedia ±

desvío estándar) de las diferencias entre líneas para CA2 fue -3,09 ± 1,72 kg (línea R más eficiente), y el 95% DPA fue -6,54 a 0,21 kg. Como el 95% DPA incluye el cero se podría decir desde el punto de vista frecuentista (tradicional) que la diferencia no es significativa. Sin embargo, la metodología bayesiana permite calcular otras probabilidades para las diferencias de CA2 entre líneas. La probabilidad que la línea R sea más eficiente que la S fue de 96,4%. Adicionalmente, las probabilidades de que la línea R tuviera una CA2 inferior que la línea S en 0,5, 1,0 y 1,5 kg MS/kg ganancia fueron 93,5, 88,9 y 82,4%, respectivamente.

Cuando se compara la ganancia de acuerdo con el peso metabólico, en las dos pruebas, no hubo diferencias entre las dos líneas de HPG (p>0,05). De acuerdo con los valores de HPG los animales R presentaron menor valor en el día 23 (p<0,05) pero no presentaron diferencias significativas en los conteos de HPG de los días 30, 37 y 42 del período dos (Figura 5).

Cuadro 3. Consumo residual del alimento (CRA), consumo, conversión alimenticia (CA), ganancia media diaria (GMD), peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), área de ojo de bife (AOB) y espesor de grasa (EG), de línea HPG seleccionada para resistencia a PGI en la prueba sin infestación de *H. contortus* (prueba 1) y con infestación (prueba 2, períodos 2.a y 2.b).

Línea HPG	Resistente	Susceptible	p valor	EM	Corral
CRA 1	0,02±0,018	-0,02±0,016	0,116	nc	nc
CRA 2	0,01±0,021	-0,01±0,019	0,334	nc	nc
Consumo1	0,97±0,036	0,98±0,044	0,969	0,472	<,0001
Consumo2	1,13±0,042	1,12±0,051	0,849	0,961	0,003
Consumo2.a	1,15±0,043	1,15±0,052	0,970	0,833	0,001
Consumo2.b	1,11±0,042	1,07±0,051	0,635	1,000	0,017
CA1	9,0±0,62	7,6±0,75	0,161	0,732	0,791
CA2	8,0±1,05	11,1±1,28	0,074	0,987	0,774
CA 2.a	8,1±0,87	8,6±0,97	0,713	0,792	0,234
CA 2.b	7,3±5,29	15,1±6,44	0,364	0,772	0,364
GMD1	123±0,90	143±0,11	0,168	0,378	0,362
GMD2	144±0,90	123±0,11	0,144	0,982	0,814
GMD2.a	143±0,11	134±0,14	0,629	0,145	0,567
GMD2.b	166±0,17	130±0,20	0,199	0,593	0,304
$Pv^{0,75}$_1	12,9±0,20	13,2±0,25	0,391	0,578	<,0001
$Pv^{0,75}$_2	14,6±0,25	15,1±0,30	0,256	0,715	<,0001
AOB1	6,0±0,24 [a]	5,2±0,29 [b]	0,027	0,451	0,005
AOB2	7,1±0,25	6,9±0,30	0,581	0,664	0,010
EG1	1,4±0,07	1,4±0,09	0,995	0,370	0,051
EG2	2,0±0,10	1,9±0,12	0,360	0,620	0,065

CRA (kg/día); Consumo (kgMS/día); CA (kg de alimento consumido/ kg de ganancia); GMD (g/día); $PV^{0,75}$(kg); AOB (cm^2); EG (mm). EM= edad de la madre. Diferentes letras dentro de una fila (^{a,b}) indican diferencias significativas (p<0,05) entre variables. nc: no corresponde, según modelo.

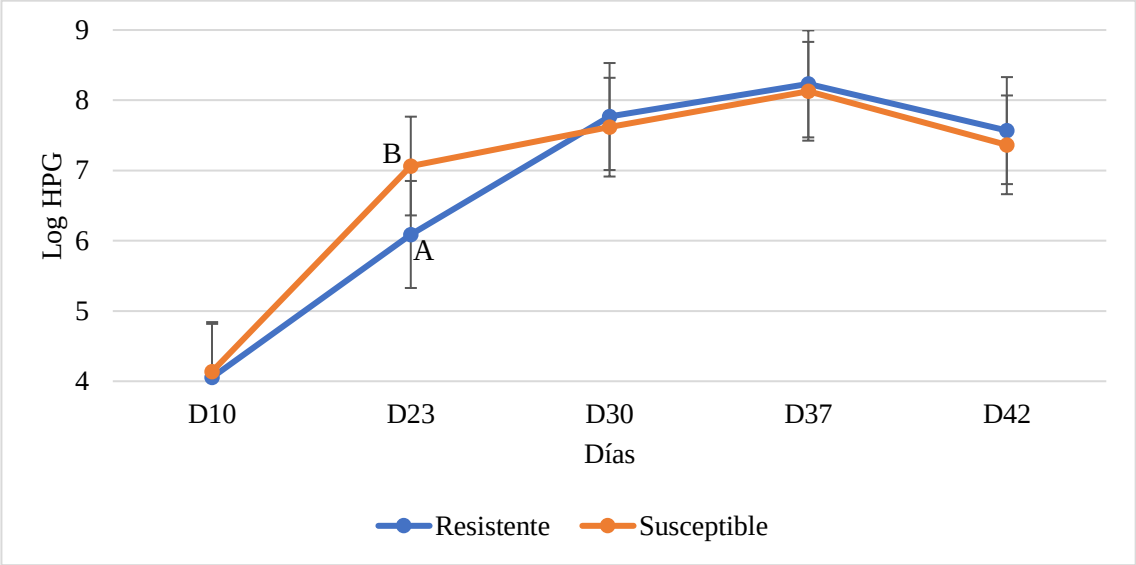


Figura 5. Evolución de la carga parasitaria, expresado en el HPG en log, para Línea HPG durante 42 días.

9.2 Días necesarios para medición de consumo residual del alimento

Se observa que la correlación de ranking (Spearman) entre los días de prueba disminuye en la medida que el período de evaluación es más corto (de P1 a P4). Sin embargo, el descender 10 días la prueba (P2, P2'), tuvo una correlación de 0,96 y 0,99 para P2 y P2' con P1 y P1'. Al considerar la correlación de Pearson, los resultados son similares, las correlaciones más altas se encuentran en P2 y P2' con el total de la prueba (44 días). Con el modelo de medidas repetidas, con pruebas con una duración de 28 días tienen correlaciones de 0,99 con las pruebas de 44 días (Cuadro 4). Tanto para Spearman como para Pearson, las correlaciones fueron superiores al trabajar con los datos promedio semanales (modelo de medidas repetidas por semana) tanto para consumo de materia seca, peso vivo, ganancia de peso, siempre considerando todos los datos diarios obtenidos.

Cuadro 4. Correlaciones de los modelos para días (P) y medidas repetidas (P') de medición de consumo para pruebas de CRA.

	Spearman (P<0,001)	
	P1	P1'

P2	0,96	P2'	0,99
P3	0,91	P3'	0,99
P4	0,85	P4'	0,98

Pearson (P<0,001)			
	P1		P1'
P2	0,96	P2'	0,99
P3	0,90	P3'	0,99
P4	0,84	P4'	0,98

10. DISCUSIÓN

Este estudio evaluó consecuencias fenotípicas (consumo individual, conversión alimenticia y consumo residual del alimento) de la selección divergente para resistencia a PGI en corderos. Nuestra hipótesis fue parcialmente aceptada, ya que los animales no presentaron diferencias en consumo individual, conversión del alimento y consumo residual independientemente que estuvieran o no desafiados con *H. contortus*.

10.1 Líneas de selección

Una reducción en el consumo de alimento sin comprometer la eficiencia biológica o económica podría tener un impacto benéfico en la industria ovina (Redden et al., 2011). Sin embargo, la teoría de Rauw (1998) dice que al seleccionar por mayor productividad y menor consumo se podría estar seleccionando animales más susceptibles al estrés o enfermedades. En nuestras condiciones de estudio los animales de las líneas divergentes no mostraron diferencias en CRA independientemente de la presencia o ausencia de parásitos. De igual manera que el CRA, no encontramos diferencia en CA para las líneas divergentes en el enfoque tradicional frecuentista. Esto puede interpretarse como que no existen ventajas o desventajas en términos de eficiencia de conversión de alimento por seleccionar ovinos más resistentes a PGI, lo que implica que el costo de la inmunidad no fue relevante para afectar la eficiencia de conversión de alimento en nuestro estudio. Nuestros resultados son respaldados por Doyle et al. (2011), quienes reportaron que el aumento de la resistencia genética a los PGI no tuvo consecuencias desfavorables en el desempeño de los animales o la ingesta voluntaria de materia seca, por lo que no afectó la eficiencia de conversión del alimento. Adicionalmente, Liu et al. (2005) informaron que, sin desafío parasitario, el peso del vellón o el crecimiento de la lana fueron similares entre ovejas resistentes y control para PGI, mientras que después de un desafío parasitario las ovejas resistentes tuvieron una tendencia a una menor tasa de crecimiento de lana. En

resumen, el resultado más importante de esta tesis es que la selección por animales más resistentes no tendría una consecuencia negativa en la eficiencia de conversión del alimento. Incluso, cuando analizamos la CA en el período parasitado con un enfoque Bayesiano se pudo detectar que existe una alta probabilidad que los R sean incluso más eficientes que los S cuando están parasitados (probabilidad de 96,4%).

Se ha sugerido que el desarrollo de la inmunidad a los PGI en ovejas es metabólicamente más costoso que la posterior expresión de inmunidad (Wagland et al., 1984). Esto también podría explicar la falta de diferencias en las diferentes variables evaluadas entre los animales R y S. Los corderos de nuestras pruebas tenían un año, cuando la inmunidad ya debería estar establecida (Cuquerella, 1993). Si esta prueba se hubiese realiazdo con corderos más jóvenes, los resultados podrían haber sido diferentes. De hecho, la inmunidad del parásito (conocida como protección) comienza a desarrollarse entre los 5 y 9 meses de edad (Woolaston et al., 1990). En ese momento, podría haber sido posible encontrar diferencias en consumo residual y en eficiencia de conversión de alimento, ya que se utiliza una gran cantidad de nutrientes para el desarrollo de la inmunidad. Además, altos niveles de proteína cruda en la dieta (por ejemplo>19%), podrían minimizar los efectos de los parásitos (Steel, 2003). En las infestaciones por PGI, el acceso a dietas de alta proteína mejora la respuesta inmune, ya que los animales parasitados asignan más proteínas para la producción de mucho-proteínas y reemplazan las células epiteliales desprendidas (Liu et al., 2005b). Esta proteína se desvía de los procesos de producción para dar prioridad al mantenimiento, síntesis de proteínas en plasma y sangre, reparación e integridad de las membranas mucosas del tracto gastrointestinal y mantenimiento de la respuesta inmune (Parkins y Holmes, 1989; Mcrae et al., 2015). La alimentación de los animales con una dieta alta en proteína podría beneficiar el consumo además de ofrecer una mejor resiliencia a los animales susceptibles (Kahn et al., 2003) mediante un incremento de la síntesis proteica (Kyriazakis et al., 1994; Doyle et al., 2014). Los animales en esta tesis fueron alimentados con una dieta con alto contenido de PC, y eso podría explicar porque no presentaron diferencias post-infestación en HPG luego del D23 al D42. La respuesta diferencial al D23, puede ser parcialmente atribuible a diferencias en la respuesta del sistema inmune entre líneas genéticas. En este sentido, Escribano et al. (2019) trabajando con las mismas líneas divergentes que las utilizadas en esta tesis, encontraron que la respuesta temprana a la infestación en la línea resistente se relacionó a altos niveles de IgA en saliva y plasma, ya que desde el inicio de la infestación estos animales presentaron una respuesta inmune más desarrollada (T

helper2) y una mayor producción de citoquinas. Mientras que en la línea susceptible la respuesta inmune se desarrolló tres semanas después de la infestación. Apoyando esto, Liu et al. (2005) encontraron que los animales R tenían una respuesta inmune desarrollada antes (después de la infestación) que los S, con una mayor proporción de globulina en relación con la albúmina. Finalmente, otro aspecto es que al estimar CRA o CA en una dieta *ad libitum*, animales parasitados pueden estar teniendo acceso a una dieta por encima de los requerimientos para mitigar los efectos adversos de una parasitosis y por lo tanto los recursos nutricionales no son limitantes.

En nuestro estudio, en el período dos, después de que los animales fueron desafiados, se observó (en el enfoque Bayesiano) una mejor eficiencia de CA para aquellos animales resistentes a la enfermedad. Una mayor eficiencia (expresada como CA) en producto animal puede ser una consecuencia de la disminución de la respuesta y la proliferación celulares, especialmente en el intestino, que se asocia con la respuesta inmune a la infestación (Gill et al., 1992; Greer et al., 2005). Asimismo, la diferencias en eficiencia (CA2) en niveles relevantes (por ejemplo 1 kg MS/kg ganancia) presentó una alta probabilidad (89%) en favor de la línea R. También se observó que los animales R en el período 2.a tuvieron una conversión similar a la de S. Cuando se considera el período 2.b, hay una indicación de que los animales S presentaron una conversión alimenticia más pobre, explicada por una ganancia más baja y una ingesta de alimento similar. Los nematodos gastrointestinales pueden reducir la ingesta de alimento, lo que reduce la disponibilidad o absorción de nutrientes, debido a las lesiones que generan en el abomaso o el intestino (Dynes et al., 1998). En esta tesis, el consumo de materia seca aumentó gradualmente a lo largo de las pruebas, asociado con un aumento de peso vivo metabólico. Aunque, no hubieron diferencias en consumo de materia seca o ganancia de peso vivo entre las líneas divergentes, se observó en la prueba dos, que los animales resistentes tuvieron un leve descenso del consumo mientras que la ganancia de peso se incrementó desde el período 2.a a 2.b. Animales alimentados con dietas proteicas por encima de sus requerimientos no presentan el efecto de reducción del consumo cuando se encuentran parasitados e incluso pueden incrementarlo evitando pérdidas en peso vivo (Datta et al., 1998). Como ha sido indicado previamente en estudios con líneas divergentes, no se han encontrado diferencias en consumo de materia seca con o sin desafío parasitario, aunque ante el desafío se ha reportado descenso del consumo voluntario de hasta 7% (Liu et al., 2005a; Doyle et al., 2011). En relación con la ganancia de peso vivo, en desafíos parasitarios con *T. columbriformis* y *Ostertagia spp.*, se ha reportado que los animales

susceptibles tuvieron una mejor ganancia de peso que los animales resistentes hasta seis semanas post infestación, pero desde la semana 7 hasta la 18 la ganancia de los susceptibles descendió mientras que la de los resistentes no varió en todo el período, y sin diferencias en el peso relativo de los órganos entre animales divergentes. Poppi y McLennan (2010), indicaron que los animales parasitados poseen requerimientos extra de aminoácidos, presentan ineficiencias en la utilización de la proteína y la energía, basado en que deben priorizar la reparación del tracto digestivo, reemplazar el plasma y muco-proteínas y desarrollar una respuesta inmune a los parásitos. En conclusión, potenciales ineficiencias de los animales susceptibles pueden ser responsables de un detrimento en la eficiencia de conversión del alimento en relación con los resistentes y este efecto puede haber sido minimizado por la dieta específica utilizada en este estudio. Incluso, no se detectaron diferencias entre líneas en eficiencia de conversión, consumo y desempeño animal, esto en conjunto con el resultado del análisis Bayesiano y las diferencias numéricas encontradas en el período 2.b podría interpretarse como que el costo de la inmunidad en este estudio fue menor que el costo de la enfermedad.

En el día 37 el conteo de huevos empezó a disminuir para las dos líneas, lo que puede ser un efecto de la infestación en dosis única que se realizó. Doyle et al. (2014) no encontraron diferencias entre las líneas en las siete primeras semanas post infestación y a partir de la semana ocho los animales resistentes presentaron menores valores de HPG que los animales susceptibles, lo mismo encontrado por (Woolaston, 1992) con infestaciones semanales. El tiempo transcurrido pos-infestación de seis semanas en la prueba 2 sumado a la edad de los animales y la alta calidad de la dieta puede indicar que no fue suficiente para que la parasitosis tuviera efectos negativos en los animales, que pudieron combatirla (resistencia) o mantener sus niveles productivos (resiliencia).

10.2 Días necesarios para medición del CRA en pruebas con ovinos

El CRA es una medida de eficiencia que debe ser estimada a través del consumo animal individual *ad libitum*, lo que la torna en una medición costosa por los equipamientos y mano de obra. Se ha establecido en ovinos que el periodo de 35 días sería suficiente para que el consumo se estabilice, mientras que para la prueba de medición de CRA se estiman entre 35 días hasta 75 días, con pesaje de los animales semanales (Cammack et al., 2005; Redden et al., 2011; Cockrum et al., 2013; Paganoni et al., 2017). Nuestro trabajo que concuerda con la literatura presentada mostró que en una dieta forrajera es posible disminuir los días de medición a 34 días y quizá llegar a

pruebas de 28 días con pesos diarios y diferentes modelos utilizados, bajando costos en alimentación y manejo de los animales en los corrales y permitiendo mayor número de animales medidos por año en donde se cuente con el equipamiento necesario.

.

11. CONCLUSIONES

De lo expuesto en las condiciones de nuestra prueba, se ha demostrado que la selección por resistencia a PGI podría no tener efectos negativos en la ingesta de alimento, ganancia de peso y eficiencia en la conversión del alimento.

Con una dieta de alto contenido proteico los animales durante 42 días de infestación, no presentaron signos clínicos de hemoncosis, y a pesar de no observarse diferencias estadísticamente significativas entre las líneas para consumo, CA, CRA y ganancia de peso en un análisis clásico frecuentista, existe alta probabilidad (análisis bayesiano) que la eficiencia de conversión del alimento de los animales resistentes sea mejor (menor CA) que la de animales susceptibles frente a una infestación parasitaria, indicando que el costo de un sistema inmune más desarrollado en este estudio fue menor que el costo de una infestación artificial monoespecífica.

Las mediciones de consumo individual para el cálculo del CRA en un gran número de animales, es costosa en equipamientos, alimento y mano de obra, por eso disminuir el tiempo a través de mediciones diaria de peso vivo es fundamental, a partir de nuestros resultados se puede disminuir el periodo para 28 días con un período máximo de 14 días de acostumbramiento con los animales libres de parásitos.

Dada la importancia de poseer opciones tecnológicas para producir en un ambiente desafiante desde el punto de vista de los PGI en nuestro ambiente de producción ovina, se ha realizado un fuerte proceso de selección por animales resistentes en los últimos años tanto a nivel experimental como comercial. Los resultados obtenidos en este trabajo podrían interpretarse de que este proceso no necesariamente ha sido acompañado por cambios desfavorables en la eficiencia de conversión del alimento, consumo o ganancia de peso en los animales. Al entender como relevante descender los costos de producción (alimento) sin perder productividad, se podría considerar la utilización de variables como consumo individual, residual y eficiencia de conversión para la búsqueda de animales más eficientes.

12. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

Esta tesis es parte del proyecto 1) Producir con rumiantes menores más eficientes, adaptados y robustos (RUMIAR CL38) con financiación INIA y 2) Small Ruminants breeding for efficiency and resilience (SMARTER) con financiamiento europeo (Horizon 2020).

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alba-Hurtado, F., and M. A. Muñoz-Guzmán. 2013. Immune responses associated with resistance to haemonchosis in sheep. Biomed Res. Int. 2013:1–11. doi:10.1155/2013/162158.

Archer, J. A., W. S. Pitchford, T. . Hughes, and P. F. Parnell. 1998. Genetic and phenotypic relationships between food intake , growth , eficiency and body composition of mice post weaning and maturity. Animmal Sci. 67:171–182. doi:10.1017/S1357729800009917.

Arthur, P. F., J. A. Archer, D. J. Johnston, R. M. Herd, E. C. Richardson, and P. F. Parnell. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake , feed efficiency , and other postweaning traits in Angus cattle. J. Anim. Sci. 79:2805–2811. doi:10.1126/science.95.2469.427-b.

Bath, G. F., J. W. Hansen, R. C. Krecek, J. A. Van Wyk, and A. F. Vatta. 2001. Sustainable approaches for managing haemonchosis in sheep and goats. FAO Anim. Prod. Heal. Pap. 129.

Baker, R.L., Rodriguez-Zas, S.L., Southey, B.R., Audho, J.O., Aduda, E.O., Thorpe,W.2003. Resistance and resilience to gastro-intestinal nematode parasites and relationships with productivity of Red Maasai, Dorper and Red Maasai x Dorper crossbred lambs in the sub-humid tropics. Anim. Sci. 76. 119-136.

Beilharz, R. G., B. G. Luxford, and J. L. Wilkinson. 1993. Quantitative genetics and evolution: Is our understanding of genetics sufficient to explain evolution? J. Anim. Breed. Genet. 110:161–170. doi:10.1111/j.1439-0388.1993.tb00728.x.

Bermúdez, R., and W. Ayala. 2005. Producción de forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. R. M. Gómez and M. M. Albicette, editors. Semin. Actual. Técnica en Manejo Campo Nat. 33–39.

Bisset, S. A., A. Vlassoff, C. A. Morris, B. R. Southey, R. L. Baker, and A. G. H. Parker. 1992. Heritability of and genetic correlations among faecal egg counts and productivity traits in Romney sheep. New Zeal. J. Agric. Res. 35:51–58. doi:10.1080/00288233.1992.10417701.

Bisset, S. A., A. Vlassoff, C. J. West, and L. Morrison. 1997. Epidemiology of nematodosis in Romney lambs selectively bred for resistance or susceptibility to nematode infection. Vet. Parasitol. 70:255–269. doi:10.1016/S0304-4017(96)01148-X.

Bricarello, P. A., Gennari, S. M., Oliveira-Sequeira, T. C. G., Vaz, C. M. S. L., Gonçalves De Gonçalves, I., & Echevarria, F. A. M. 2004. Worm burden and immunological responses in Corriedale and Crioula Lanada sheep following natural infection with Haemonchus contortus. Small Ruminant Research, 51(1), 75–83. https://doi.org/10.1016/S0921- 4488(03)00188-3.

Cammack, K. M., K. A. Leymaster, T. G. Jenkins, and M. K. Nielsen. 2005. Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior , and daily gain in composite ram lambs. J. Anim. Sci. 83:777–785. doi:10.2527/2005.834777x.

Campos, M. M., F. S. Machado, L. G. R. Pereira, and B. C. Carvalho. 2012. Eficiência alimentar: Ferramenta para aumento de bioeficiência em gado de leite. In: E. N. Fernandes, C. E. Masrtins, M. M. Nobre, E. Novaes, F. C. F. Lopes, L. C. Mendonça, L. G. R. Pereira, M. M. Machado, S. R. Teixeira, A. Talone, F. H. Silva, J. P. Fiorini, and M. C. Martins, editors. Desafios para a sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite. Embrapa Ga. Juiz de Fora - Minas Gerais. p. 146–159.

Cantalapiedra- Hijar, G., M. Abo- Ismail, G. E. Carstens, L. L. Guan, R. Hegartty, D. A. Kenny, M. McGee, G. Plastow, A. Relling, and I. Ortigues- Marty. 2018. Review : Biological determinants of between-animal variation in feed ef fi ciency of growing beef cattle. Animal. 12:321–335. doi:10.1017/S1751731118001489.

Cantalapiedra- Hijar, G., D. R. Yáñez- Ruiz, A. I. Martín- García, and E. Molina-Alcaide. 2009. Effects of forage : concentrate ratio and forage type on apparent digestibility , ruminal fermentation , and microbial growth in goats. J. Anim. Sci. 81:622–631. doi:10.2527/jas.2008-1142.

Castells, D. 2004. Epidemiología y Control de nematódos gastrointestinales de ovinos en el Uruguay. INIA Ser. Act. Difusión. 359:3–11.

Castells, D. 2005a. Métodos de control de nematodos gastrointestinales con especial énfasis en resistencia genética (Revisión). In: Producción Ovina. Vol. 17. p. 21–36.

Castells, D. 2005b. Adaptación de genotipos a ambientes adversos: resistencia genética de los ovinos a parásitos gastrointestinales. Agrociencia Uruguay. IX:587:593. doi:10.2477/VOL9ISS1-2PP587-593.

Castells, D. M. 2008. Evaluación de resistencia genética de ovinos Corriedale a

los nematodos gastrointestinales en Uruguay: Heredabilidad y Correlaciones genéticas entre el recuento de huevos de nematodos y caracteristicas productivas. Universidad De La República.

Castells, D., A. Nari, E. Rizzo, and E. Marmol. 1997. Efecto de los nematodes gastrointestinales en la etapa de recría ovina sobre el desempeño productivo posterior. In: Producción Ovina. Secretariado Uruguayo de la Lana, Montevideo, Uruguay. p. 9–18.

Ciappesoni, G., and V. Goldberg. 2018. Genetic parameters for body weight , worm resistance , packed cell volume and FAMACHA © under natural infestation in Corriedale sheep. In: Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.

Ciappesoni, G., V. Goldberg, and D. Gimeno. 2013. Estimates of genetic parameters for worm resistance, wool and growth traits in Merino sheep of Uruguay. Livest. Sci. 157:65–74. doi:10.1016/j.livsci.2013.07.011.

Ciappesoni, G., A. Mederos, I. De Barbieri, A. Rodríguez, L. Kelly, P. Nicolini, V. Goldberg, and F. Montossi. 2009. Resistencia genética a parásitos gastrointestinales en ovinos: el enfoque del INIA. Agrociencia Uruguay. 13:83.

Cockrum, R. R., R. H. Stobart, S. L. Lake, and K. M. Cammack. 2013. Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. Small Rumin. Res. 113:313–322. doi:10.1016/j.smallrumres.2013.05.001.

Colditz, I. G. 2008. Six costs of immunity to gastrointestinal nematode infections. Parasite Immunol. 30:63–70. doi:10.1111/j.1365-3024.2007.00964.x.

Coop, R. L., and I. Kyriazakis. 1999. Nutrition – parasite interaction. Vet. Parasitol. 84:187–204. doi:https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00070-9.

Cuquerella, A. . 1993. Respuesta humoral en Hemoncosis ovina, dinámica de la producción de anticuerpos y caracterización antigénica de Haemonchus contortus. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria.

Datta, F. U., J. V Nolan, J. B. Rowe, and G. D. Gray. 1998. Protein supplementation improves the performance of parasitised sheep fed a straw ! based diet. Int. J. Parasitol. 28:1269–1278. doi:10.1016/S0020-7519(98)00104-0.

Doyle, E. K., L. P. Kahn, and S. J. McClure. 2014. Nutrient partitioning of Merino sheep divergently selected for genetic difference in resistance to Haemonchus contortus. Vet. Parasitol. 205:175–185. doi:10.1016/j.vetpar.2014.06.028.

Doyle, E. K., L. P. Kahn, S. J. McClure, and J. M. Lea. 2011. Voluntary feed intake and diet selection of Merino sheep divergently selected for genetic difference in

resistance to Haemonchus contortus. Vet. Parasitol. 177:316–323. doi:10.1016/j.vetpar.2011.01.043.

Dynes, R. A., D. P. Poppi, G. K. Barrell, and A. R. Sykes. 1998. Elevation of feed intake in parasite-infected lambs by central administration of a cholecystokinin receptor antagonist. Br. J. Nutr. 79:47–54. doi:10.1079/bjn19980008.

Eady, S., R, Woolaston, and I, Barger. 2003. Comparison of genetic and nongenetic strategies for control of gastrointestinal nematodes of sheep. Livest. Prod. Sci. 81:11–23. doi:10.1016/S0301-6226(02)00197-5.

Eady, S.J., Woolaston, R.R., Ponzoni, R.W., Lewer, R.P., Raadsma, H.W., Swan, A.A. 1998. Resistance to nematode parasites in Merino sheep: correlation with production traits. Australian Journal of Agricultural Research. 49: 1201-1211.

Fan, L. Q., Baileyz, D.R.C., N. H. Shannon, V. Arendonk, and F. A. N. E. T. Al. 1995. Genetic parameter estimation of postweaning gain, feed intake, and efficiency for Herefordand Angus bulls fed two diffrent diets. J. Anim. Sci. 73:365–372.

Fernández, M.P., Remedi, M.A. 2015. Estudio epidemiológico parcial de las helmintiasis gastrointestinales en un rebaño de ovinos Criollos del este del país. Tesis de grado, Facultad de Veterinaria, Uruguay.

Ferreira, F. A., D. O. Santos, L. O. Ribas, E. F. Brito, and M. O. Ribas. 2015. Consumo alimentar residual em bovinos de corte. Nutr. Rev. Eletrônica. 12:4368–4378.

Fiel, C. A., P. E. Steffan, and D. A. Ferreyra. 2011. Cultivo y recuperación de larvas infectivas (L3) de nematodos gastrointestinales. In: Diagnóstico de las parasitosis más frecuentes de los rumiantes: técnicas de diagnóstico e interpretación de resultados. Vol. 1. Tandil. Buenos Aires. p. 30–35.

Gill, H. S., D. L. Watson, and M. R. Brandon. 1992. In vivo inhibition by a monoclonal antibody to CD4+ T cells of humoral and cellular immunity in sheep. Immunology. 77:38–42.

De Goede, D. M., B. Gremmen, and M. Blom-Zandstra. 2013. Robust agriculture : Balancing between vulnerability and stability. NJAS - Wageningen J. Life Sci. 64–65:1–7. doi:10.1016/j.njas.2012.03.001.

Goldberg, V., G. Ciappesoni, and I. Aguilar. 2012. Genetic parameters for nematode resistance in periparturient ewes and post-weaning lambs in Uruguay an Merino sheep. Livest. Sci. 147:181–187. doi:10.1016/j.livsci.2012.05.003.

Grasso, N. 2013. Identificación de polimorfismos de un solo nucleotídeo asociados a la resistencia a parásitos gastrointestinales en ovinos Corriedale.Universidad

de la República, Tesis de Maestría

Greer, A. W. 2008. Trade-offs and benefits: Implications of promoting a strong immunity to gastrointestinal parasites in sheep. Parasite Immunol. 30:123–132. doi:10.1111/j.1365-3024.2008.00998.x.

Greer, A. W., M. Stankiewicz, N. P. Jay, R. W. McAnulty, and A. R. Sykes. 2005. The effect of concurrent corticosteroid induced immuno-suppression and infection with the intestinal parasite Trichostrongylus colubriformis on food intake and utilization in both immunologically naïve and competent sheep. Anim. Sci. 80:89–99.

Herd, R. M., and P. . Arthur. 2008. Physiological basis for residual feed intake. Am. Soc. Anim. Sci. 87:64–71. doi:10.2527/jas.2008-1345.

Van Houtert, F. J., and R. Sykes. 1996. Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections. Int. J. Parasitol. 26:1151–1167. doi:10.1016/S0020-7519(96)00120-8.

Johnson, K., M. Huyler, H. Westberg, B. Lamb, and P. Zlmmerman. 1994. Measurement of Methane Emissions from Ruminant Livestock Using a SF6 Tracer Technique. Environ. Sci. Technol. 28:359–362.

Kahn, L. P., M. R. Knox, G. D. Gray, J. M. Lea, and S. W. Walkden-Brown. 2003. Enhancing immunity to nematode parasites in single-bearing Merino ewes through nutrition and genetic selection. Vet. Parasitol. 112:211–225. doi:10.1016/S0304-4017(02)00438-7.

Knap, P. W. 2005. Breeding robust pigs. Aust. J. Exp. Agric. 45:763–773. doi:10.1071/EA05041.

Koch, R. M., L. A. Swiger, D. Chambers, and K. E. Gregory. 1963. Efficiency of Feed use in Beef Cattle. J. Anim. Sci. 22:486–494. doi:doi.org/10.2527/jas1963.222486x.

Kyriazakis, I., J. D. Oldham, R. L. Coop, and F. Jackson. 1994. The effect of subclinical intestinal nematode infection on the diet seletion of growing sheep. Br. J. Nutr. 72:665–677. doi:10.1079/bjn19940070.

Liu, S. M., T. L. Smith, J. Briegel, A. Murray, D. G. Masters, L. J. E. Karlsson, D. G. Palmer, J. C. Greeff, R. B. Besier, and S. B. Gao. 2005a. Comparing productive performance of nematode resistant Merino sheep with non-selected control. Livest. Prod. Sci. 97:117–129. doi:10.1016/j.livprodsci.2005.03.006.

Liu, S. M., T. L. Smith, L. J. E. Karlsson, D. G. Palmer, and R. B. Besier. 2005b. The costs for protein and energy requirements by nematode infection and resistance in Merino sheep. Livest. Prod. Sci. 97:131–139. doi:10.1016/j.livprodsci.2005.03.007.

Luiting, P. 1999. The Role of Genetic Variation in Feed Intake and its Physiological Aspects : Results from Selection Experiments. In: D. van der Heide, E. A. Huisman, E. Kanis, J. W. M. Osse, and M. . W. . Verstegen, editors. Regulation of feed intake. CABI Publi. p. 75–87.

Macleay, C., S. Blumer, S. Hancock, L. Inglis, B. Paganoni, G. Rose, and A. N. Thompson. 2018. Feed intake for sheep can be measured precisely in less than 35 days. In: Australian Society of Animal Production.

Mcrae, K. M., M. J. Stear, B. Good, and O. M. Keane. 2015. The host immune response to gastrointestinal nematode infection in sheep. Parasite Immunol. 37:605–613. doi:10.1111/pim.12290.

McClure, S. (2000). Sheep immunity to gastrointestinal nematode parasite-Review 2000. CSIRO Mac master laboratory, Armidale, Australia, 14p.

Mederos, A., and G. Banchero. 2013. PARASITOSIS GASTROINTESTINALES DE OVINOS Y BOVINOS: situación actual y avances de la investigación. Rev. Inia. 34:10–15.

Molento, Marcelo Beltrão, S. C. M. Niciura, and A. C. de S. Chagas. 2011. Protocolos basicos de laboratorio para a realização de metodologias fenotipicas e genotipicas. In: M B Molento, editor. Manual Prático: Metodologias de diagnóstico da resistência e de detecção de substâncias ativas em parasitas de ruminantes. Embrapa Pe. p. 117–153.

Morris, C. A., S. A. Bisset, A. Vlassoft, R. L. Baker, T. G. Watson, D. M. Leathwick, and M. Wheeler. 1997. Correlated responses in fleece weight to selection for divergence in faecal nematode egg count in New Zealand Romneys and Perendales. Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod. 57:26–28. doi:10.1079/BJN19660078.

Muro- Reyes, A., H. Gutierrez- Banuelos, L. H. Diaz- Garcia, F. J. Gutierrez-Pina, L. M. Escareno- Sanchez, R. Banuelos- Valenzuela, C. A. Medina- Flores, and A. Corral Luna. 2011. Potential Environmental Benefits of Residual Feed Intake as Strategy to Mitigate Methane Emissions in Sheep. J. Anim. Vet. Adv. 10:1551–1556. doi:10.3923/javaa.2011.1551.1556.

Paganoni, B., G. Rose, C. Macleay, C. Jones, D. J. Brown, G. Kearney, M. Ferguson, and A. N. Thompson. 2017. More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets. J. Anim. Sci. 95:3839–3850. doi:10.2527/jas.2017.1499.

Pardo, A. M., and J. Papaleo. 2018. Consumo residual en corderos Texel. In: R. A. de P. Animal, editor. 41° Congreso Argentino de Producción Animal. Vol. 38. Buenos Aires. p. 340.

Parkins, J. J., and H. P. Holmes. 1989. Effects of gastrointestinal helminth parasites on ruminant nutrition. Nutr. Res. Rewies. 2:227–246. doi:10.1079/NRR19890016.

Rauw, W. M. 2012. Feed Efficiency and Animal Robustness. In: R. A. Hill, editor. Feed Efficiency in the Beef Industry. Wiley-Blackwell. p. 105–122.

Rauw, W. M., E. Kanis, and F. J. Grommers. 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals : a review. Livest. Prod. Sci. 56:15–33.

Redden, R. R., L. M. M. Surber, A. V Grove, and R. W. Kott. 2013. Growth efficiency of ewe lambs classified into residual feed intake groups and pen fed a restricted amount of feed. Small Rumin. Res. 114:214–219. doi:10.1016/j.smallrumres.2013.07.002.

Redden, R. R., L. M. M. Surber, A. V Grove, and R. W. Kott. 2014. Effects of residual feed intake classification and method of alfalfa processing on ewe intake and growth. J. Anim. Sci. 92:830–835. doi:10.2527/jas2013-6768.

Redden, R. R., L. M. M. Surber, B. L. Roeder, and R. W. Kott. 2011. Residual feed intake does not predict efficiency of limit-fed ewe lambs. North Dakota.

Snowder, G. D., and L. D. Van Vleck. 2003. Estimates of genetic parameters and selection strategies to improve the economic efficiency of postweaning growth in lambs. J. Anim. Breed. Genet. 81:2704–2713.

Stear, M. J., M. Doligalska, and K. Donskow-Schmelter. 2007. Alternatives to anthelmintics for the control of nematodes in livestock. Parasitology. 134:139–151. doi:10.1017/s0031182006001557.

Steel, J. . 1978. Inter-relationships between gastrointestinal helminth infection, nutrition and impaired productivity in the ruminant. Recent Adv. Anim. Nutr. Aust. 1:98–109.

Steel, J. W. 2003. Effects of protein supplementation of young sheep on resistance development and resilience to parasitic nematodes. Aust. J. Exp. Agric. 43:1469–1476. doi:10.1071/EA03004.

Suleyman, T., and P. Mucahit. 2015. Evaluating orchard and poplar leaves during autumn as an alternative fodder source for livestock feeding. Cienc. e Investig. Agrar.

42:27–33. doi:10.4067/S0718-16202015000100003.

Sykes, A. R. 2010. Host immune responses to nematodes: benefit or cost? Implications for future development of sustainable methods of control. Rev. Bras. Zootec. 39:376–382. doi:10.1590/s1516-35982010001300041.

Sykes, A. R., and A. W. Greer. 2003. Effects of parasitism on the nutrient economy of sheep: An overview. Aust. J. Exp. Agric. 43:1393–1398. doi:10.1071/EA02228.

Sykes AR.1994. Parasitism and production in farm animals. Animal Production. 59: 159–172.

Ueno, H., and P. C. Gonçalves. 1998. Manual para diagnóstico das Helmintoses de Ruminantes. 4° Edição. Japan International Cooperation Agency, Tokyo.

Van Eerden, E., H. Van Den Brand, G. De Vries Reilingh, H. K. Parmentier, M. C. M. De Jong, and B. Kemp. 2004. Residual feed intake and its effect on Salmonella enteritidis infection in growing layer hens. Poult. Sci. 83:1904–1910. doi:10.1093/ps/83.11.1904.

Wagland, B. M., J. W. Steel, R. G. Windon, and J. K. Dineen. 1984. The response of lambs to vaccination and challenge with Trichostrongylus colubriformis: Effect of plane of nutrition on, and the inter-relationship between, immunological responsiveness and resistance. Int. J. Parasitol. 14:39–44. doi:10.1016/0020-7519(84)90009-2.

Watson, D. L., and H. S. Gill. 1991. Effect of weaning on antibody responses and nematode parasitism in Merino lambs. Res. Vet. Sci. 51:128–132. doi:10.1016/0034-5288(91)90002-6.

Weiner, J. 1992. Physiological limits to Energy Budgets Sustainable in Birds and Mammals : Ecological Implications. Elsevier Sci. Publ. 7:384–388.

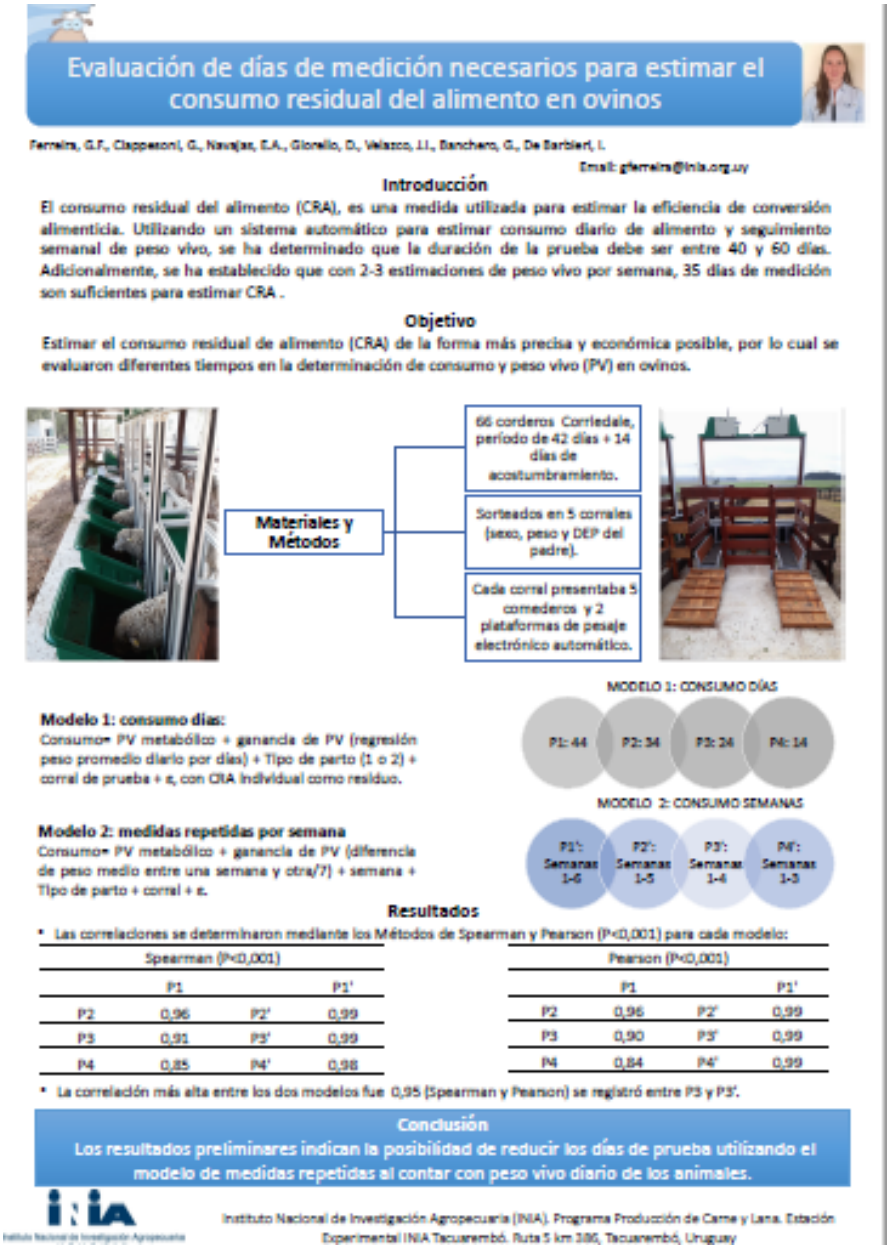
Woolaston, R. R. 1992. Selection of Merino sheep for increased and decreased resistance to Haemonchus contortus: Peri-parturient effects on faecal egg counts. Int. J. Parasitol. 22:947–953. doi:10.1016/0020-7519(92)90052-M.

Woolaston, R. R., I. A. Barger, and L. R. Piper. 1990. Response to helminth infection of sheep selected for resistance to Haemonchus contortus. Int. J. Parasitol. 20:1015–1018. doi:10.1016/0020-7519(90)90043-M.

Woolaston, R. R., and L. R. Piper. 1996. Selection of Merino sheep for resistance to Haemonchus contortus: Genetic variation. Anim. Sci. 62:451–460. doi:10.1017/S1357729800014995.

ANEXO 1: XI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericano.

Póster presentado en el XI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, en la ciudad de Querétaro- México (2019). Resumen del Congreso: https://docs.wixstatic.com/ugd/da6cd7_c859548f4f514d6eab69e886a81dcc19.pdf



Evaluación de días de medición necesarios para estimar el consumo residual del alimento en ovinos

Ferreira, G.F., Clappesoni, G., Navajas, E.A., Giorello, D., Velasco, J.I., Banchero, G., De Barbieri, I.

Email: gferreira@inia.org.uy

Introducción

El consumo residual del alimento (CRA), es una medida utilizada para estimar la eficiencia de conversión alimenticia. Utilizando un sistema automático para estimar consumo diario de alimento y seguimiento semanal de peso vivo, se ha determinado que la duración de la prueba debe ser entre 40 y 60 días. Adicionalmente, se ha establecido que con 2-3 estimaciones de peso vivo por semana, 35 días de medición son suficientes para estimar CRA .

Objetivo

Estimar el consumo residual de alimento (CRA) de la forma más precisa y económica posible, por lo cual se evaluaron diferentes tiempos en la determinación de consumo y peso vivo (PV) en ovinos.

Materiales y Métodos

- 66 corderos Corriedale, período de 42 días + 14 días de acostumbramiento.
- Sorteados en 5 corrales (sexo, peso y DEP del padre).
- Cada corral presentaba 5 comederos y 2 plataformas de pesaje electrónico automático.

Modelo 1: consumo días:
Consumo= PV metabólico + ganancia de PV (regresión peso promedio diario por días) + Tipo de parto (1 o 2) + corral de prueba + e, con CRA individual como residuo.

Modelo 2: medidas repetidas por semana
Consumo= PV metabólico + ganancia de PV (diferencia de peso medio entre una semana y otra/7) + semana + Tipo de parto + corral + e.

MODELO 1: CONSUMO DÍAS

MODELO 2: CONSUMO SEMANAS

Resultados

- Las correlaciones se determinaron mediante los Métodos de Spearman y Pearson (P<0,001) para cada modelo:

Spearman (P<0,001)			
	P1		P1'
P2	0,96	P2'	0,99
P3	0,91	P3'	0,99
P4	0,85	P4'	0,98

Pearson (P<0,001)			
	P1		P1'
P2	0,96	P2'	0,99
P3	0,90	P3'	0,99
P4	0,84	P4'	0,99

- La correlación más alta entre los dos modelos fue 0,95 (Spearman y Pearson) se registró entre P3 y P3'.

Conclusión

Los resultados preliminares indican la posibilidad de reducir los días de prueba utilizando el modelo de medidas repetidas al contar con peso vivo diario de los animales.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Programa Producción de Carne y Lana. Estación Experimental INIA Tacuarembó. Ruta 5 km 386, Tacuarembó, Uruguay

ANEXO 2: 70° Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP) Ghent (Bel).

2019 Ferreira, G.F.; De Barbieri, i.; Castells, D.; Navajas, E.A.; Giorello, D.; Costa, J.T.C; Banchero, G.; Ciappesoni, G. Differences in growth between Corriedale sheep divergent lines for resistance to nematodes**. 70° Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP) Ghent (Bel).** In: Book of Abstracts of the 70th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP). Wageningen (NLD): Wageningen Academic Publishers (Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 25, 1ère Ed.), 2019. **574p**. ISSN 1382-6077.

ANEXO 3: Manuscrito

Título del manuscrito: Feed conversion efficiency in sheep genetically selected for resistance to gastrointestinal nematodes.

Autores: Ferreira, G.F; Ciappesoni, G; Castells, D; Amarilho- Silveira, F; Navajas, E; Giorello, D; Banchero, G; De Barbieri, I.

Enviado a Animal Production Science.