

PLATAFORMA DE FENOTIPADO DE EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DEL ALIMENTO Y EMISIÓN DE METANO

F Amarilho-Silveira¹, G Ciappesoni², E Navajas², G Ferreira³, I De Barbieri²

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción de ovinos, no solamente en Uruguay, sino también otras partes del mundo como Francia, España, Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda, la búsqueda de ovinos más eficientes es un camino para mantener la actividad competitiva en un escenario de alta competitividad de otros rubros de producción alternativos, como la agricultura y forestación. La identificación de animales con una mejor eficiencia de conversión del alimento a producto, o de animales que realicen un mejor aprovechamiento de la energía consumida a través de menores pérdidas por emisión de metano, permitiría la selección de animales más eficientes a ser incorporados en el sistema de producción.

Sin embargo, para comenzar a trabajar en identificar la variación individual en el uso del alimento y de las emisiones de gases de efecto ganadero, es necesario la medición del consumo de alimento, ganancia de peso y emisión de metano, lo cual conlleva evaluaciones de alto costo y que requieren de la infraestructura adecuada para estos fines. Con este objetivo, INIA construyó la plataforma de fenotipado intensivo de eficiencia de conversión y emisiones de metano en ovinos. Esta plataforma está ubicada desde 2018 en la Unidad Experimental de La Magnolia, Tacuarembó, Uruguay.

2. EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

2.1. Procedimiento para la toma de registros

Las evaluaciones de eficiencia de conversión se realizan en los animales durante su etapa de crecimiento entre el destete y los 14 meses de vida, y hay una secuencia de acciones protocolizadas para garantizar que los datos sean colectados adecuadamente. A continuación, se detalla cómo es la dinámica para la toma de registros, el procesamiento de los datos que se obtienen y la ecuación para el cálculo de la eficiencia de conversión de cada animal.

Estas evaluaciones se realizan en lo que denominamos pruebas de eficiencia y emisión, una representación esquemática de una prueba se presenta en la Figura 1. Es relevante destacar que todos los procedimientos realizados en estas pruebas están autorizados por el comité de ética de uso de animales en experimentación de INIA en el protocolo INIA 2018.2.

La prueba tiene una duración mínima de 56 días, con 14 días de adaptación a la dieta y las instalaciones y 42 días de período de evaluación (Cockrum et al., 2013). En el día 0 los animales que van a participar de la prueba de consumo llegan a la Unidad Experimental La Magnolia, día en el que descansan y se desestresan de los posibles efectos de haber sido trasladados. El acostumbramiento se realiza en las instalaciones de la plataforma y a los animales se les ofrece el fardo de alfalfa que será el alimento de toda la prueba. A fin

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

³Secretariado Uruguayo de la Lana, Uruguay.

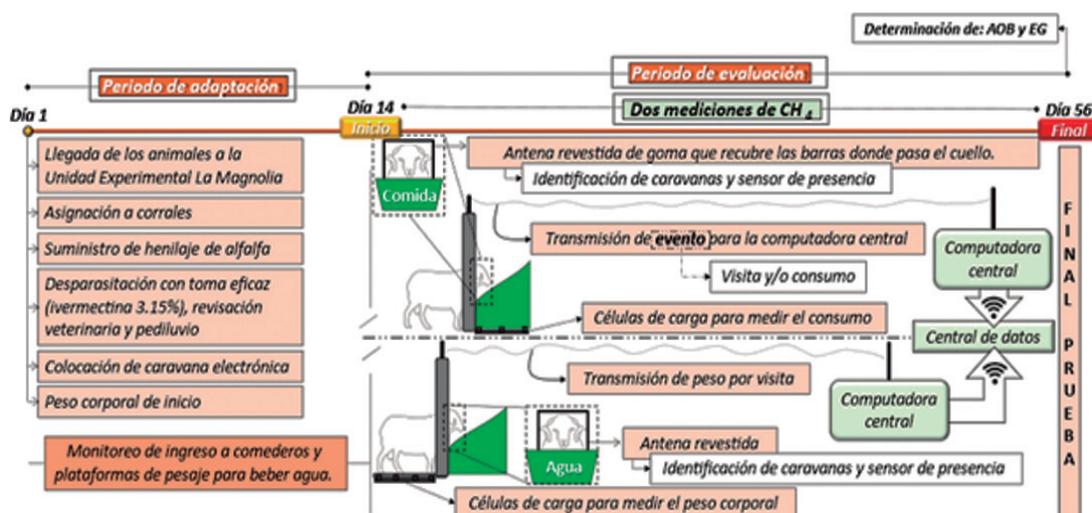


Figura 1. Esquema de una prueba, con un período de adaptación de 14 días, un período de evaluación de consumo y peso de 42 días, momento en el cual también se evalúa la emisión de metano, el área de ojo de bife y espesor de grasa. Fuente: adaptado de Amarilho-Silveira et al. (2022).

de 2024, se llevan realizadas 32 pruebas de eficiencia y emisión, en las primeras 8 el alimento fue Festin® (fardo húmero de alfalfa) *ad libitum* en comederos colectivos. De ese momento en adelante, el alimento ha sido henilaje de alfalfa, en silopacks de aproximadamente 650 kg de alfalfa cortada en estado vegetativo o floración temprana. Al inicio de cada prueba, se hace un manejo más individualizado con la colocación de las caravanas electrónicas con radiofrecuencia (RFID, del inglés radio frequency identification) en una de las orejas. Estas caravanas son de gran importancia para mantener el monitoreo de cada animal mientras dura la prueba.

Cada corral tiene cinco comederos automáticos individuales y dos plataformas de pesaje, todos equipados con un lector electrónico (para las caravanas) y balanzas de precisión. Estos equipos están conectados a una computadora central, lo cual permite el control del peso corporal y el consumo de alimento de los animales en cada evento (acceso al agua para el pesaje y al comedero para alimentarse), información que luego se agrega diariamente. La alimentación es *ad libitum*, y los comederos son rellenados 3-4 veces por día (dependiendo del consumo del grupo de animales), y una vez por día, se retira el alimento remanente del día anterior. El contenido de materia seca del alimento se

mide dos veces por semana y al mismo momento se guarda una muestra para análisis de composición química. En el laboratorio de nutrición animal de INIA La Estanzuela, se evalúa contenido de fibra detergente ácida, fibra detergente neutro, ceniza, materia seca analítica, proteína cruda y extracto etéreo (Tafernaberry et al., 2024).

Durante la aclimatación, los animales son divididos en cinco grupos (cinco corrales) de evaluación. Como parte del protocolo de entrada, se realiza la dosificación contra nematodos gastrointestinales, la formación de lotes por sexo, por peso corporal (intentando diferencias de peso dentro cada corral < a 5 kg), tipo de nacimiento (sí es posible) y padre (siempre hay más de un padre representado en cada corral, y más de un hijo por padre). Desde el punto de vista sanitario, cuando en la prueba hay animales de diferente origen, se suma un pediluvio inicial y otro final, un examen por médico veterinario, y una inyección con Ivermectina (3,15%). En estas dos primeras semanas (principalmente primeras 72 horas), se verifica que todos los animales accedan al agua y al alimento de forma adecuada. Los recaudos en el loteo, es para disminuir la incidencia de dominancia de animales (afectando el consumo de otros) y proporcionar correcta identificación de grupos de manejo a ser considerados en las

evaluaciones genéticas. Por corral, se intenta no colocar más de 20 animales por prueba, aunque en algunas excepciones se ha colocado entre 20 a 25 animales por corral, controlándose que los comederos no sean utilizados más de 22 horas por día.

El día 14 empieza la evaluación propiamente dicha, yendo hasta el día 56, sumando 42 días de periodo de evaluación. Entre el día 14 y el día 56 se aplica un monitoreo diario mediante un sistema de software que identifica el ingreso de los animales al comedero y a la plataforma de pesaje corporal. Los equipos y software fueron proporcionados por Intergado® (Belo Horizonte, MG, Brasil). La caravana con RFID permite identificar al animal cada vez que visita el comedero, así como también si tuvo o no consumo. En el caso del consumo, se genera el dato de cuanto alimento dicho animal consumió en la visita, como el resultado de la diferencia de cuanto comida había en el comedero antes y después de la visita. La suma de los consumos de cada visita es el consumo total diario en base fresca. Para el peso corporal, los animales al tomar agua tienen que entrar en las plataformas de pesaje, así a cada visita para beber agua, se computa el peso corporal del animal, el promedio de todos los pesos diarios es el peso vivo para ese día de ese animal. En 2024, al inicio de la prueba número 30, los bebederos han sido provistos de balanza, por lo que se comienza a registrar también el consumo de agua de bebida de cada animal.



Figura 2. Imagen de los comederos automáticos, siendo utilizados por los animales. (Foto: archivo INIA).

Los comederos automáticos tienen una capacidad de 200 kg ($\pm 0,025$ kg de precisión) y sus dimensiones son de 758,4 × 536 × 371 mm (Figura 2). La capacidad de la plataforma de pesaje es de 400 $\pm 0,1$ kg y sus dimensiones son 430 × 1200 × 1200 (Figura 3). Los datos se registran y se transfieren continuamente a una computadora central y al centro



Figura 3. Imagen panorámica de la plataforma, donde se pueden observar las plataformas de pesaje asociadas a los bebederos. (Foto: Alessandro Zuchetti).

de datos del software web de Intergado. Para garantizar el correcto funcionamiento del equipo se realiza diariamente un monitoreo *in situ* y online, y los equipos se calibran de forma periódica (quincenal o semanal). Cualquier detalle específico de un animal (lesión, enfermedad) o equipo (calibración adicional, otros) es registrado. En el último día de la prueba se mide el área de ojo de bife y espesor de grasa sobre el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* en la 13^{era} costilla, por ultrasonografía (De Barbieri et al., 2021).

2.2. Cálculo de la eficiencia de conversión

Una vez finalizada la prueba y con acceso al set completo de datos de consumo y peso vivo comienza la edición de estos. Para los datos de peso corporal, se elimina la información de animales con algún problema sanitario, y también se elimina información puntual en base a considerarse registros de pesos atípicos o biológicamente improbables, como por ejemplo pesajes mayores y menores que 75 y 15 kg, respectivamente, en animales post destete. Esa edición es importante para mantener la precisión de las pruebas, tomando en cuenta que se generan miles de datos por corral y que algunos de estos no representan el desempeño de los animales, probablemente por problemas técnicos. Una vez que la base de datos ha sido editada se corre un análisis con Modelos Lineales Generalizados (GLM) para identificar datos atípicos que no fueron detectados en una primera instancia. Se elimina los registros atípicos identificados por residuos estandarizados que son mayores o menores que tres desvíos estándar de la media. Con eso hecho, se computa los pesos promedio por animal por día (PC) expresados en kg.

La estimación de la ganancia de peso diaria (GPD) es realizada a través de la regresión lineal, en la que el coeficiente de regresión es la ganancia diaria expresada en kg y es estimada en función de la variación de PC a lo largo de la prueba.

Para el consumo de alimento, inicialmente se utiliza los datos promedio de consumo de alimento fresco diario de toda la prueba. Para obtener los dato de consumo diario se hace

la suma de todas las cantidades consumida por visita al comedero, repitiéndolo en todos los días de prueba. En el final se obtendrá el promedio diario considerando el consumo de 42 días para todos los animales en la prueba. Se excluye datos considerados biológicamente improbables, como consumos mayores y menores que 3,0 y 0,0 kg en materia fresca, respectivamente; también se eliminan consumos mayores que 1,0 kg en materia fresca en un tiempo de consumo menor que tres minutos. El consumo de alimento de materia seca (CMS) se obtiene multiplicando los datos de consumo de alimento fresco por el porcentaje de materia seca promedio de cada prueba.

Con esos datos de PC, GPD y CMS se realiza la estimación de la eficiencia de conversión del alimento, utilizando el consumo residual del alimento (RFI por su acrónimo en inglés), propuesto por Koch et al. (1963). Para la estimación del RFI se hace un modelo lineal múltiple para predecir el CMS. Se considera en el modelo el promedio de CMS (CMS_{prom}) de todos animales en una prueba, el corral (Corral, incluye efecto del sexo), el peso corporal metabólico ($PC^{0.75}$), GPD y el residual del modelo que es el RFI (diferencia entre el CMS observado y el predicho). Para una mejor comprensión el modelo puede ser descrito así: $CMS = CMS_{prom} + Corral + PC^{0.75} + GPD + RFI$. Animales que presentan un RFI negativo se consideran más eficientes, o sea, se observa un consumo menor de lo que fue predicho para cumplir las exigencias de mantenimiento ($PC^{0.75}$) y GPD. Por el contrario, en el caso de RFI positivo el animal consumió más alimento de lo que fue predicho para sus requerimientos, y es, por lo tanto, ineficiente.

3. EMISIÓN DE METANO

3.1. Procedimiento para la toma de registros

Las emisiones de metano se estiman siguiendo el protocolo de cámaras de acumulación portátiles (PACs, por su acrónimo en inglés) descrito por Goopy et al. (2011; 2016), Paganoni et al. (2017), Robinson et al. (2014) y Jonker et al. (2018). Se realizan dos estimaciones por animal durante las tres

últimas semanas de la prueba de consumo de alimento (al menos una semana entre estimaciones), momento donde se puede conocer el consumo de alimento y el peso corporal de los animales en el día y los días anteriores a la estimación de emisiones de gases.

Las características que se evalúan son las emisiones de metano (CH₄), las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el consumo de oxígeno (O₂). En la semana de medición se mide un corral por día en corridas consecutivas de 10 animales, por lo tanto, generalmente, se miden 20 animales por día y al final de la semana 100 animales. Si la prueba de consumo de alimento tiene más de 100 animales, se realiza una corrida extra en el día que corresponda. Los animales tienen acceso al agua y alimento *ad libitum* hasta el momento de la medición (Robinson et al., 2020).

Cada ovino es asignado a una de las 10 cámaras selladas de 862 lts de volumen, con dimensiones de 1,23 m de largo, 1,24 m de altura y 0,53 m de ancho (Figura 4). A los 20 y 40 minutos después de la entrada de los animales en las PACs se realizan determinaciones de las concentraciones de CH₄, CO₂ y O₂. En paralelo, se obtienen estimaciones de temperatura, presión atmosférica y concentración de gases en el aire. Las medidas de gases se realizan con el Eagle 2® (RKL instruments, Union City, CA, USA). Al Eagle



Figura 4. Imagen de un animal dentro de la cámara de acumulación portátil, para la estimación de la emisión de metano. (Foto: Alessandro Zuchetti).

2® y las cámaras se les realizan chequeos entre las semanas de medición y al Eagle 2® se lo calibra periódicamente de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por RKL instruments.

3.2. Cálculo de la emisión de metano

La medición de la concentración de metano en las PAC es en ppm. Este valor se convierte a CH₄ en litros por día (l/d), conforme la siguiente ecuación (Jonker et al., 2020; Paganoni et al., 2017):

$$CH_4 \text{ (l/d)} = \frac{\left(\frac{\Delta CH_4}{\Delta PAC_{time}} \right) \times (PAC_v - PC \times 1,01)}{1.000.000}$$

siendo, ΔCH₄ la diferencia entre las concentraciones finales e iniciales y ΔPAC_{time} la diferencia entre el tiempo (hora : minutos : segundos) final e inicial para cada animal en el período de medición; PAC_v es el volumen de la PAC medida entre la superficie de una lámina de agua (usada para sellar la base de la PAC) hasta el tope de la PAC y; PC es el peso corporal promedio del animal en el día de la medición.

En una segunda etapa el CH₄ en l/d se convierte a gramos por día (g/d) a temperatura y presión estándar, conforme la siguiente ecuación (Jonker et al., 2020):

$$CH_4 \text{ (g/d)} = CH_4 \text{ (l/d)} \times STP \times 16,043/22,4$$

donde 16,043 es la masa molar de metano (g), y 22,4 es el volumen molar (l) de un gas a presión y STP es la temperatura estándar:

$$STP = 273,15 \text{ K} / (273,15 \text{ K} + \text{temperatura}) \times (\text{presión (kPa)} / 101,3)$$

siendo 101,3 kPa la presión atmosférica estándar a nivel del mar, y donde 273,15 K es el equivalente a 1 °C.

Luego, el dato de cada animal es el promedio de las dos mediciones en el período de evaluación de la prueba de consumo.

4. ESTUDIOS EN LA PLATAFORMA DE FENOTIPADO

Desde el inicio de las pruebas de consumo (agosto de 2018) se ha hecho un trabajo exhaustivo de compilación de datos para generar conocimiento y prestación de servicios para los productores de ovinos en Uruguay. En este contexto, se han realizado diferentes estudios científicos, los cuales se reportan en diferentes secciones de esta publicación. Entre ellos se encuentra el estudio de los parámetros genéticos para los nuevos fenotipos (consumo de alimento, consumo residual del alimento y emisión de metano), o la asociación fenotípica entre las nuevas variables y otros parámetros productivos de interés (reproducción, producción del animal adulto). También se destaca el desarrollo de poblaciones referencia para las evaluaciones genómicas, hecho que en Merino Australiano ha permitido tener hoy en día estimaciones genómica de las Diferencias Esperadas en las Progenie para emisiones de metano y eficiencia de conversión.

En paralelo, se han realizado dos estudios para hacer un uso más eficiente de la plataforma de fenotipado, a través del descenso del número de días necesarios para evaluar eficiencia de conversión y el uso del aprendizaje automático computacional para predecir consumo. Los mismos se presentan a continuación.

4.1. Duración en días de la prueba de eficiencia

Normalmente, la duración de las pruebas de consumo en ovinos es de 56 días: 14 días de adaptación a la dieta y las instalaciones, y 42 días de período de evaluación (Cockrum et al., 2013). La posibilidad de reducir la duración de la prueba con un mejor uso de los datos generados disminuiría los costos sin comprometer la precisión. En estudios previos, Macleay et al. (2016) y Paganoni et al. (2017) demostraron que es posible obtener datos precisos del consumo de alimento individual con solamente 35 días de evaluación. Sin embargo, debido a que en otros protocolos el peso corporal es quincenal, semanal o 2-3 veces por semana, la incógnita era si al

contar con peso vivo diario (como en la plataforma de La Magnolia), sería posible reducir aún más esa duración.

Sobre esta base se estudió la confiabilidad de reducir los días de registros o la duración de la prueba. Las variables utilizadas CMS, PC, GPD y RFI fueron descritas previamente, así como las metodologías de medición y cómputo. En este estudio, en lo que refiere a los cálculos, se evaluaron variaciones en la cantidad de días de registro. Para esto se consideraron 4 períodos: 21, 28, 35 y 42 días de evaluación.

Los primeros análisis hechos fueron las correlaciones entre los componentes del modelo de RFI, siendo GPD la variable más influenciada por la reducción de los días de evaluación. La correlación de Pearson de GPD entre el cálculo de 35 días de evaluación con 42 fue 0,95, mientras que, entre 28 y 42 días fue 0,77, y menor aún con 21 días. Las correlaciones entre 42 días y los otros períodos para CMS fueron todas altas, siendo superiores a 0,93. Esto indican que el consumo se puede estimar con 21 días, en concordancia con el estudio de Macleay et al. (2016).

La correlación de Spearman entre el modelo de 42 y 35 días para RFI fue 0,98, bajando a 0,95 y 0,88 al considerar 28 y 21 días, respectivamente. Por lo tanto, este estudio brinda buenos argumentos para decir que una prueba con 35 días podría cumplir los objetivos de acortar el período de evaluación sin perder exactitud en la estimación de la eficiencia de los animales. La valoración de los R^2 de los diferentes modelos con consistentes con dicha conclusión ya que en modelo de RFI con 35 días es de 0,75 (el más alto entre los estudiados). Se considera que para que un modelo tenga buena capacidad de predicción del RFI, el R^2 debe ser mayor a 0,70 (Jonhson et al., 2017).

Uno de los resultados consistente e independiente de los días en evaluación, fue que el PC metabólico fuera la variable que posee la mayor capacidad de explicación de la variación en el CMS. Por tanto, se puede decir que los requerimientos para mantenimiento fueron la principal variable para determinar la eficiencia. Así, el RFI negativo representa

animales que hacen un uso más eficiente del alimento consumido y presentan menores requerimientos de mantenimiento y ganancia de peso que el promedio de los animales de una prueba específica (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018).

Esos resultados, así como análisis adicionales, son detallados por Amarilho-Silveira et al. (2022), que concluyen que es posible disminuir los días en evaluación. Sin embargo, para obtener la validación de estos resultados, se sugieren estudios a nivel de parámetros genéticos (correlaciones, principalmente) considerando cada tiempo de evaluación como una característica independiente.

4.2. Predicción del consumo utilizando aprendizaje automático computacional

En base que el consumo de alimento individual es una característica relativamente de difícil y costosa medición, sumado a la necesidad de mano de obra capacitada e instalaciones, es atractivo la búsqueda de alternativas para predecirlo. En paralelo, en la medida que se obtengan más animales con este fenotipo estimado, sin aumentar los costos, hay un efecto de dilución de los costos actuales o fijos. Por lo tanto, se puede considerar la utilización de nuevos abordajes estadísticos para su estimación en un contexto de inteligencia computacional. La propuesta en este estudio fue evaluar en el consumo de alimento individual la aplicación de modelos utilizando el aprendizaje automático computacional.

El modelo conceptual es estimar el consumo de alimento de un animal, sin la necesidad de medirlo en la plataforma de fenotipado, para lo cual se pueden utilizar diferentes alternativas de predicción de la característica.

En este estudio en particular, se consideraron las siguientes variables: mediciones de conformación *in vivo* vía ultrasonografía (área de ojo de bife y espesor de grasa subcutánea al final de los 42 días de evaluación), peso corporal registrado al inicio, al medio y al final de una prueba de eficiencia (estimando el peso corporal metabólico promedio y la ganancia de peso entre el inicio y final de la

prueba), medidas de calidad y cantidad de lana (peso de vellón sucio y diámetro de la fibra a la esquila), peso a la esquila y emisión de gases (metano y dióxido de carbono). Utilizando estas variables fue posible predecir el consumo de alimento en energía metabolizable para ovinos Merino Australiano, Merino Dohne y Corriedale con un coeficiente de determinación de 0,83 y 0,91 para modelos que incluyen los algoritmos de k-Nearest Neighbor (stepwise) y Support Vector Machine (stepwise), respectivamente.

Para explorar si estos resultados son aplicables a campo, se validaron con un segundo conjunto de datos reales, con representación de las tres razas antes mencionadas, las cuales los algoritmos desconocían. Por lo tanto, se realizaron las predicciones de consumo y se compararon los resultados predichos con los valores verdaderos u observados. Esas comparaciones fueran hechas vía análisis de correlaciones (Spearman y Pearson), las cuales presentaron valores que variaron desde 0,87 hasta 0,92 para los algoritmos anteriormente mencionados. Es claro que el resultado de la predicción no es perfecto, pero si es muy bueno y beneficioso al permitir el aumento del número de animales evaluados por año, sin incrementar concomitante los costos, teniendo así más datos de consumo para usar en las evaluaciones genéticas poblacionales.

El número de animales erróneamente clasificados entre bajo, medio y alto consumo de alimento para los algoritmos k-Nearest Neighbor y Support Vector Machine, fueron, respectivamente: de los con alto consumo observado, 27,4% y 24,7% fueron clasificado como medio y ninguno como bajo; de los con medio consumo observado, 13,5% y 12,2% fueron clasificados como alto y 12,8% y 12,2% fueron clasificados como bajo y; de los con bajo consumo observado, 25,7% y 24,3% fueron clasificados como medio y ninguno fue clasificado como alto. Eso muestra que hay cierta confusión entre las clasificaciones por grupo, pero no hay gran probabilidad de indicar a un animal como de alto consumo si es de bajo consumo observado y viceversa.

La aplicación de modelos estadísticos por algoritmos que poseen capacidad de entendimiento de la relación, muchas ve-

ces no lineal, que no se puede identificar fácilmente de forma visual o con modelos más sencillos, permite predecir el consumo de los animales. Esto es factible incluso en individuos que no necesariamente pasen por la plataforma de fenotipado. Por ejemplo, si se continúan realizando las pruebas de consumo con el protocolo actual y generando un mayor volumen de datos para entrenar los algoritmos, se puede en un futuro con estructuras (procedimientos) más económicas, como son comederos colectivos con comida y agua *ad libitum*, predecir el consumo de animales sin necesidad de medir su consumo individual. Ante esto, una opción sería medir el consumo de los individuos que están en la plataforma de fenotipado y las características que serán usadas para predicción; concomitantemente, en otro sitio, en corrales con comederos colectivos (con loteo por sexo, peso inicial y otras) y solamente con las mediciones de las variables predictoras, tendremos los consumos de esos animales también, sumando más animales con fenotipo de consumo. Es importante destacar que para ovinos las mediciones de gases de efecto invernadero con objetivo de fenotipar para evaluaciones individuales, son hechas con cámaras de acumulación portátil, que, por tener una estructura pequeña y liviana, se las puede adaptar a un remolque y trasladarlas por todo el país haciendo mediciones itinerantes. De esta forma, se podría contar con un centro de evaluación del consumo de alimento y pruebas dispersas en varios lugares donde los animales tendrían acceso al mismo alimento que la plataforma de fenotipado y las variables predictoras recolectados de forma independiente, pudiendo obtener el doble o más de animales con información del consumo de alimento en cada período de evaluación.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Se ha indicado que la selección por animales más eficientes puede colaborar en enfrentar algunos de los desafíos que enfrenta la producción ovina (De Barbieri et al., 2025). Dicha contribución es particularmente clave en lo que refiere a un incremento de la producción en un escenario de recursos

cada vez más limitantes. La plataforma de fenotipado intensivo de ovinos de INIA, en sus primeros 7 años de funcionamiento, ha permitido la evaluación de casi 3000 animales de diferentes razas y orígenes (experimentales y privados). Se han consolidado los protocolos y se ha comenzado la exploración de alternativas (genómica, machine learning, pruebas más cortas, animales de cabañas) que permitan hacer un trabajo más eficiente, con menos costos y mayor alcance en la población ovina.

BIBLIOGRAFÍA

- Amarilho-Silveira, F., De Barbieri, I., Cobuci, J.A., Balconi, C.M., Ferreira, G.F., Ciappesoni, G. (2022).** Residual feed intake for Australian Merino sheep estimated in less than 42 days of trial. *Livestock Science* 258, 104889.
- Cantalapiedra-Hijar, G., Abo-Ismael, M., Carstens, G.E., Guan L.L., Hegarty, R., Kenny, D.A., Mcgee, M., Plastow, G., Relling, A., Ortigues-Marty, I. (2018).** Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. *Animal* 12, S321–S335.
- Cockrum, R.R., Stobart, R.H., Lake, S.L., Cammack, K.M., (2013).** Phenotypic variation in residual feed intake and performance traits in rams. *Small Ruminant Research* 113, 313–322.
- De Barbieri, I., Viñoles, C., Montossi, F., Luzardo, S., Ciappesoni, G. (2021).** Productive and reproductive consequences of crossbreeding Dohne Merino with Corriedale in Uruguayan sheep production systems. *Animal Production Science* 62(1), 29–39.
- De Barbieri, I., Ramos, Z., Pinto-Santini, L., Barchet, F., Freire, T., Odeón, M., Ciappesoni, G., Menchaca, A., Carracelas, B., Bancharo, G., Guillenea, A., Navajas, E.A. (2025).** Review: Identification of robust sheep to climate change and variability. *Agrociencia*, accepted Dic, 2024
- Goopy, J.P., Robinson, D.L., Woodgate, R.T., Donaldson, A.J., Oddy, V.H., Vercoe, P.E., Hegarty, R.S. (2016).** Estimates of repeatability and heritability of methane production in sheep using portable accumulation chambers. *Animal Production Science* 56, 116–122.

- Goopy, J.P., Woodgate, R., Donaldson, A., Robinson, D.L., Hegarty, R.S. (2011).** Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166, 219–226.
- Jonker, A., Hickey, S., McEwan, J., Waghorn, G. (2020).** Portable accumulation chambers for enteric methane determination in sheep. In: Jonker, A., & Waghorn, G. C. eds. *Guidelines for estimating methane emissions from individual ruminants using: GreenFeed, «sniffers», hand-held laser detector and portable accumulation chamber.* 49-56. <http://www.mpi.govt.nz/news-and-resources/publications/>
- Jonker, A., Hickey, S. M., Rowe, S. J., Janssen, P. H., Shackell, G. H., Elmes, S., Bain W, Wing J, Greer G, Bryson B, MacLean S, Dodds K, Pinares-Patiño C, Young E, Knowler K, Pickering N, McEwan, J.C. (2018).** Genetic parameters of methane emissions determined using portable accumulation chambers in lambs and ewes grazing pasture and genetic correlations with emissions determined in respiration chambers. *Journal of Animal Science* 96(8), 3031-3042.
- Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D., Gregory, K.E. (1963).** Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science* 22, 486–494.
- Macleay, C., Blumer, S., Hancock, S., Inglis, L., Paganoni, B., Rose, G., Thompson, A.N. (2016).** Feed intake for sheep can be measured precisely in less than 35 days. In: *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. Brief Comm.*
- Paganoni, B., Rose, G., Macleay, C., Jones, C., Brown, D.J., Kearney, G., Ferguson, M., Thompson, A.N. (2017).** More feed efficient sheep produce less methane and carbon dioxide when eating high-quality pellets. *Journal of Animal Science* 95: 3839.
- Robinson, D.L., Dominik, S., Donaldson, A.J., Oddy, V.H. (2020).** Repeatabilities, heritabilities and correlations of methane and feed intake of sheep in respiration and portable chambers. *Animal Production Science* 60, 880–892.
- Robinson, D.L., Goopy, J.P., Hegarty, R.S., Oddy, V.H., Thompson, A.N., Toovey, A.F., Macleay, C.A., Briegal, J.R., Woodgate, R.T., Donaldson, A.J., Vercoe, P.E. (2014).** Genetic and environmental variation in methane emissions of sheep at pasture. *Journal of Animal Science* 92, 4349–4363.
- Tafernaberry, A., Savian, J., Kessler, J., Ciappesoni, G., Jaurena, M., Fernández-Turrén, G., De Barbieri, I. (2024).** Using faecal nitrogen as a marker to estimate intake and digestibility in sheep fed multi-species native forage. *Animal Feed Science and Technology* 314, 115996.