

Informe final publicable de proyecto

Impacto de estrategias de alimentación y niveles de inclusión de pastura en la dieta de vacas lecheras sobre el ecosistema microbiano ruminal y las emisiones de gases de efecto invernadero

Código de proyecto ANII: FSA_1_2018_1_152588

Fecha de cierre de proyecto: 03/11/2023

CAJARVILLE SANZ, María Cecilia (Responsable Técnico - Científico)
CIGANDA BRASCA, Veronica Solange (Co-Responsable Técnico-Científico)
FERNÁNDEZ CIGANDA, Soffa Muriel (Investigador)
FRAGA COTELO, Martín (Investigador)
GERE, José Ignacio (Investigador)
IRAOLA BENTANCOR, Gregorio Manuel (Investigador)
NAYA MONTEVERDE, Hugo Mario (Investigador)
SMIRCICH RUZO, Pablo (Investigador)
SOTELO SILVEIRA, José Roberto (Investigador)
ZUNINO ABIRAD, Pablo (Investigador)
ARROYO MARTINEZ, JOSÉ MARÍA (Investigador)
BRITOS, Alejandro (Investigador)
DIEGUEZ CAMERONI, Francisco José (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE VETERINARIA (Institución Proponente) \\
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL \\
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS "CLEMENTE ESTABLE" \\
INSTITUTO PASTEUR DE MONTEVIDEO \\ INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA \\
FACULTAD DE VETERINARIA. FUNDACIÓN MARCO PODESTÁ

Resumen del proyecto

En Uruguay las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque relativamente bajas, provienen en gran parte del metano que emiten los rumiantes desde el rumen. La responsable es la fermentación ruminal, producida por una microbiota activa y variada, de sabemos poco a pesar de los enormes avances de los últimos años. Es sabido que concentrar el alimento tiene efectos reductores de la metanogénesis, siendo la estrategia más empleada reducir los forrajes e incorporar granos en la dieta, aunque también mejorando la calidad de las pasturas los rumiantes emiten menos metano, siendo éstas buena fuente de nutrición y bienestar para los rumiantes. Hipotetizamos que incorporando pasturas de buena calidad en las dietas altas en concentrados para vacas lecheras modificaríamos positivamente la microbiota ruminal, originando leche de mejor calidad, sin resentir la producción ni aumentar la emisión de metano. Para ello diseñamos 3 experimentos que se realizaron en el IPAV (Facultad de Veterinaria, Udelar, Libertad, San José). En el primero, en un rumen artificial evaluamos dietas que contenían alfalfa fresca en distintos estados de maduración. En el segundo, trabajamos con vacas lecheras, incorporando pastoreo de alfalfa a una dieta alta en concentrados, midiendo las emisiones, la digestión, la producción y las características de la leche. Con esta leche, en el tercero elaboramos quesos experimentales, para evaluar si se modificaba el perfil de grasas de la leche. Constatamos que incorporar pastura de alfalfa en la dieta mejoró la fermentación, no aumentó el metano producido ni disminuyó la producción, pero aumentó la concentración de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana en la leche. Esto se tradujo a los quesos y se mantuvo luego del período de maduración. Ello contribuye a "desmitificar" la producción de leche con pasturas, verificando las mejores características de productos lácteos de base pastoril.

Ciencias Agrícolas / Producción Animal y Lechería / Ciencia Animal y Lechería (la biotecnología animal va en "Biotecnología Agropecuaria") / Emisiones/Nutrición/Microbiología
Palabras clave: microbioma ruminal / metano / vacas lecheras /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

Luego de la firma del "Acuerdo climático de París", en diciembre de 2015, los países deben presentar periódicamente sus compromisos de reducción de emisiones y sus planes de adaptación al cambio climático. En Uruguay, y a diferencia de lo que ocurre en países industrializados, las emisiones de metano (CH₄) representan más del 40% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEIs), proviniendo a su vez casi el 90% de las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica de los sistemas ganaderos. Uruguay, así como muchos otros países, elabora sus inventarios mayoritariamente a partir de información reportada por el IPCC. Paulatinamente se han generado coeficientes técnicos para diferentes condiciones productivas y situaciones, tanto en ganadería de carne como de leche (Dini et al., 2012; Orcasberro et al., 2017; Dini et al., 2017; Dini et al., 2019), pero los datos existentes aún resultan insuficientes para sustentar la credibilidad de nuestra producción ganadera y lechera a nivel internacional.

Además de sus efectos negativos sobre el ambiente, el CH₄ emitido por los animales representa una ineficiencia del punto de vista productivo. De acuerdo con mediciones realizadas in vivo, hasta un 12% de la energía bruta ingerida por los rumiantes se pierde como CH₄ (Vlaming, 2008), lo cual agrega un factor para disminuirlas a su menor expresión.

El CH₄ en rumiantes es uno de los productos finales de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono del alimento. Las arqueas metanogénicas utilizan el H₂ producido por eubacterias fermentativas, protozoos y hongos para reducir el CO₂ a CH₄, por lo tanto, la metanogénesis es principalmente un sumidero de H₂ metabólico en el rumen (Yáñez-Ruiz et al., 2010). El CH₄ no puede ser utilizado por el animal y es eliminado en mayor proporción por eructación junto con otros gases producidos en el rumen. Aunque la formación de CH₄ representa para el animal una pérdida energética, la metanogénesis y la eliminación de los gases son un componente esencial en el rumen ya que permiten mantener el pH ruminal en condiciones estables para la actividad microbiana (Martin et al., 2010). Por ello, cualquier intento de modificar la metanogénesis debe tener en cuenta la forma alternativa de remoción del H₂, de manera que no se vea perjudicada la eficiencia del sistema digestivo (Clark et al., 2011). Las estrategias para reducir la metanogénesis sin perjudicar el sistema digestivo han sido variadas, abarcando soluciones tan diversas como el uso de moduladores de la fermentación, la selección de animales más eficientes, o la modificación en las características y calidad del alimento, tema del que se ocupó el presente proyecto.

Es sabido que la mejora de la calidad del alimento tiene efectos reductores de la metanogénesis dado que la fermentación ruminal produce mayores niveles de ácido propiónico, el cual compite por los hidrogeniones con el CH₄, produciéndose de esta forma menor cantidad de CH₄ entérico. Por otra parte, y en términos absolutos, las emisiones de CH₄ están directamente determinadas por el nivel de consumo. Cuanto mayor es este mayor será la emisión neta, aunque en general la emisión

relativa será menor (Moorby et al., 2015).

Dado que la mejora de la calidad del alimento tiene efectos reductores de la metanogénesis, la estrategia más empleada ha sido la incorporación de alimentos concentrados (principalmente almidonosos) en la dieta (Lovett et al., 2005; Muñoz et al., 2015). También hay trabajos que reportan una menor intensidad de emisión al mejorar la calidad de las pasturas (Dini et al., 2012; Hammond et al., 2011; Dini et al., 2017). De todas formas, aún quedan varios aspectos por dilucidar respecto cómo promover una fermentación ruminal eficiente y saludable para el animal, reduciendo emisiones a través del manejo alimenticio.

La microbiota presente y activa en el rumen determina la fermentación de los sustratos (alimentos) y las emisiones de gases. A pesar de que se han realizado grandes avances en la comprensión de la composición y función de la microbiota ruminal (Stewart et al., 2018), falta información sobre el papel de estas comunidades en distintas situaciones productivas. Su comprensión es clave para entender las transformaciones ruminales del material vegetal para productos de rumiantes tanto útiles como no deseados.

A nivel internacional existe una discusión acerca de cuál debe ser la estrategia alimenticia para reducir las emisiones de GEIs. En particular en lechería, hay autores que proclaman el uso de sistemas de alimentación más intensivos, como los menos contaminantes (Capper et al., 2009). Mientras tanto, países con base pastoril investigan para demostrar que los sistemas lecheros pastoriles bien manejados, además de capturar carbono no emiten más, por lo que resultan en una menor contaminación. O'Neill et al. (2011) compararon la producción y el metano generado por vacas consumiendo sólo pastura de alta calidad (raigrás) o sólo RTM, y reportaron que las primeras produjeron menos CH₄ por vaca, por unidad de alimento ingerido y por unidad de sólidos producidos. Estos cambios probablemente estén relacionados con el ecosistema ruminal y otros aspectos digestivos, aunque como se señaló antes, aún son escasos los estudios al respecto. Las pasturas templadas incluidas en las dietas de vacas lecheras poseen buenas cualidades nutricionales ya que proporcionan fibra de alta digestibilidad que permite un adecuado funcionamiento ruminal (Bargo et al., 2002a; Vibart et al., 2010; Pomiés et al., 2014; Mendoza et al., 2016a). Es así que la eficiencia de síntesis de proteína microbiana de animales alimentados con forrajes de buena calidad no ha sido mejorada utilizando concentrados suplementarios variados (García et al., 2000; Amaral et al., 2011; Aguerre et al., 2013). Además, la incorporación de pasturas frescas en la dieta de los animales tiene efectos positivos sobre las características de la leche producida, sobre todo por el aumento de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana (Vibart et al., 2008; Morales-Almaraz et al., 2010; Pastorini et al., 2015a; Mendoza et al., 2016b; Santana et al., 2024).

La mayor limitante que presentan los sistemas pastoriles es el menor consumo de materia seca y energía (Kolver, 2003). Es así como vacas alimentadas a base de forrajes frescos muestran un menor consumo y nivel de producción que aquellas alimentadas con RTMs (Kolver y Muller, 1998; Bargo et al., 2002a; Fajardo et al., 2015; Mendoza et al., 2016b; Pastorini et al., 2015b), lo que indica la necesidad de suplementación. Una alternativa es la utilización de RTM como suplemento de la pastura. A este sistema, característico de nuestra región y de otros países de clima templado, se lo denomina como raciones parcialmente mezcladas (RPM) debido a que la pastura no es parte integral de la RTM sino que se suministra aparte. Algunos estudios recientes indican que la utilización de una PMR permitiría alcanzar o incluso superar tanto el consumo, como la producción de leche logrados por vacas que consumen solamente una RTM (Vibart et al., 2008; Mendoza et al., 2016b), aunque queda mucho por saber aún sobre este sistema de alimentación para poder valorizarlo. Entre otras cosas, no ha sido posible en los trabajos anteriores lograr incorporaciones de pastura superiores al 30% en vacas de alta producción sin repercusiones negativas sobre la producción láctea.

Es de señalar, que en la mayoría de los casos la pastura ha sido a base de gramíneas, y no hay mucha información sobre leguminosas sustituyendo la pastura base. Horadagoda et al. (2009), comparando preferencias entre diversos forrajes para vacas lecheras, observó que la alfalfa era preferida frente a la mayoría de las gramíneas estudiadas, entre ellas raigrás y festuca. Mientras tanto, Pérez-Ruchel et al. (2017), observó que corderos alimentados con RTM y alfalfa, consumían más pastura a medida que se incrementaba la proporción de alfalfa en la dieta. Cajarville et al. (2015) estudiando la relación entre composición química y características fermentativas en festuca y alfalfa, observaron que la alfalfa producía menos gas de fermentación a igual composición química, sugiriendo que esto podía estar relacionado con compuestos específicos presentes en la especie, y puede ser una cualidad que se vincule a una menor producción de metano entérico. Todo lo anterior hace que la alfalfa sea un forraje de interés para ser incorporado en dietas de alto consumo, como las dietas combinadas con RTM para vacas lecheras.

De esta breve revisión se desprende que existe escasa información sobre el microbioma y la fermentación ruminal y los productos con características diferenciales respecto a los sistemas de producción más tradicionales. Este conocimiento, permitiría optimizar la implementación de este sistema, tanto del punto de vista de la reducción de emisiones como para aprovechar las ventajas comparativas sobre la calidad del producto final. Este proyecto trabajó sobre estos puntos. Nuestra

hipótesis fue que la sustitución de RTM (dietas compuestas por alimentos conservados y concentrados) en las dietas de vacas lecheras por pasturas de alta calidad modifica el microbioma digestivo, llevando a intensidades de emisión de GEIs y niveles de producción láctea similares, pero originando leche con características que promueven la salud del consumidor.

Metodología/Diseño del estudio

Estrategia de investigación

Para verificar la hipótesis central (la sustitución parcial de RTMs por alfalfa fresca en la alimentación de vacas lecheras modifica el microbioma digestivo, produciendo leche con características benéficas, manteniendo el nivel de producción y sin incrementar la emisión de metano), se diseñó una estrategia de 3 experimentos, complementarios, que se realizaron en el Instituto de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria (IPAV: Ruta 1, km 42.5, Libertad, San José). En el primero se trabajó con un rumen artificial, en el segundo con vacas en lactación y en el tercero se elaboraron quesos a partir de la leche individual de cada vaca del segundo experimento.

Experimento 1:

Se evaluó el impacto del estado fenológico de la alfalfa que sustituye parcialmente una RTM en la dieta sobre la digestión ruminal, el microbioma ruminal y la emisión de metano. En un sistema de Rumen Artificial (RUSITEC), se ensayaron 3 dietas factibles de ser empleadas en vacas de alta producción, empleando un diseño de cuadrado latino 3x3 duplicado, con 3 períodos de incubación. Las dietas consistirán en: 1) 60% RTM + 40% alfalfa en estado temprano; 2) 60% RTM + 40% alfalfa en estado tardío; 3) 100% RTM (control). En cada unidad ruminal se incubaron dos bolsas conteniendo las dietas a ensayar, que fueron cambiadas cada 48 h, en días alternos. El inóculo se obtuvo del rumen de 2 vacas adultas canuladas consumiendo una dieta estándar. Durante todo el período experimental se infundió al sistema saliva artificial, a una tasa constante de 3% por hora. La dieta RTM fue formulada para cubrir los requerimientos de vacas lecheras produciendo 35 litros según NRC (2001). Los estados fenológicos (vegetativo medio y botón floral) se obtuvieron de un cultivo propio, teniendo en cuenta que representaran forrajes que habitualmente son consumidos en establecimientos lecheros, pero con diferencias en calidad de acuerdo a su estado de maduración. En cada período se realizó una adaptación de 7 días, luego de los cuales se midió diariamente el alimento digerido y se extrajo líquido ruminal para medir pH, N-NH₃, ácidos grasos volátiles (AGV) y componentes del sustrato desaparecidos. Los gases producidos durante el período de medición se recogieron en bolsas herméticas. Se tomaron también muestras del sustrato incubado y del líquido ruminal y se estudiaron los componentes de la microbiota.

Experimento 2: El objetivo fue evaluar sobre vacas lactantes el impacto de sustituir parcialmente una RTM por alfalfa fresca sobre el microbioma, la emisión de metano, la producción y composición de la leche. Se emplearon 12 vacas con 7000 kg de leche mínimo en la lactancia previa, que se dividieron en 2 lotes iguales y se distribuyeron en 2 dietas en un diseño cruzado: 1) 100% RTM; 2) 60 % RTM + alfalfa pastoreada a voluntad. La RTM fue la misma para ambos tratamientos y formulada para cubrir los requerimientos de vacas lecheras produciendo 30 litros de acuerdo con el NRC (2001), suministrando para el tratamiento 2 el 60% del consumo estimado para cada vaca.

La alfalfa se pastoreó en prefloración y la RTM en comederos individuales. Luego de 20 días de adaptación a dietas e instalaciones, se midió consumo, producción y composición de leche, digestibilidad, síntesis de proteína microbiana en el rumen y balance de N. El ambiente ruminal y la caracterización de la microbiota se realizaron tomando muestras a través de sonda esofágica en 3 momentos del día relativos a la comida, en días alternos. Se estimó la emisión de metano entérico de cada vaca se utilizando SF₆ como marcador durante 5 días en cada período.

Experimento 3: El objetivo del estudio fue evaluar el impacto sobre los quesos elaborados con leche vaca, la alimentación con RTM o su sustitución parcial por pastoreo de alfalfa fresca de buena calidad. Con la leche proveniente de cada vaca, en cada período del experimento 2, se elaboraron 24 quesos Danbo (2 quesos/vaca), la mitad de los cuales se mantuvieron en condiciones de maduración durante 90 días. Luego de este tiempo se estudió la composición de la leche y de los quesos producidos. Se evaluó también el perfil completo de ácidos grasos por cromatografía gaseosa.

Resultados, análisis y discusión

A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados analizados presentados hasta el momento.

Del experimento realizado en rumen artificial, se observó que las principales diferencias se dieron entre RTM y dieta mixta,

siendo menores las diferencias observadas entre estados fenológicos. En particular, la digestibilidad de materia seca y nutrientes más elevada fue la de la RTM, resultando similares las digestibilidades de las dietas con inclusión de alfalfa. En cuanto al ambiente ruminal, el pH fue más bajo para la RTM y, en acuerdo con ello, la producción de AGVs totales fue mayor con esta dieta, lo mismo que el ácido propiónico y el butírico. Estas diferencias entre la RTM y la dieta mixta, indicarían "a priori" que la alimentación con RTM podría derivar en una producción de leche más alta, aunque es dudoso que, dada la magnitud, las diferencias observadas se tradujera a nivel productivo. Entre los estados fenológicos de alfalfa, la dieta mixta que contenía alfalfa en estado más temprano (vegetativo), llevó a mayor producción de AGVs totales y butírico, y menor pH que la dieta que contenía alfalfa en estado más avanzado. Finalmente, la producción de gases no difirió entre ninguno de los tratamientos, independientemente de la inclusión y del estado de maduración de la alfalfa. En definitiva, el ambiente ruminal derivado de sustituir un 40% de RTM por alfalfa fresca en dietas para vacas lecheras fue similar al de vacas alimentadas únicamente con RTM, sin incrementar las emisiones de metano.

En cuanto al experimento in vivo con vacas lecheras, destacamos como principales resultados los siguientes. El consumo de materia seca y nutrientes fue menor cuando se incluyó la pastura en la dieta, aunque no se visualizaron modificaciones en las principales variables de ambiente ruminal. Se observaron interacciones entre tratamiento y período para algunos ácidos grasos volátiles y para la concentración de amonio en el rumen. En cuanto a las emisiones de metano, no se observaron diferencias, con la excepción de los g de metano por kg de materia seca consumida, que fueron más elevados cuando se incluyó pastura. La producción de leche fue similar en ambos tratamientos, aunque la composición de sus ácidos grasos fue diferente. Al incluir pastura, aumentaron significativamente las concentraciones de los ácidos ω -linoléico (18:3 c9, c12, c15), Ruménico (CLA, 18:2 c9, t11), y Vaccénico (TVA, 18:1 t11), y disminuyó la concentración de Esteárico (18:0). En los quesos elaborados con la leche se mantuvieron las diferencias observadas, aún luego de 90 días de maduración. Todo lo anterior permite afirmar hasta el momento, que la sustitución de un 40% de RTM por alfalfa fresca en vacas lecheras permitió obtener un ambiente ruminal similar al de vacas alimentadas únicamente con RTM, sin incrementar las emisiones de metano in disminuir la producción de leche, con el beneficio de aumentar las concentraciones de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana tanto en la leche como en los quesos, manteniéndose este beneficio luego de una maduración de 90 días.

En términos generales, podemos afirmar que los resultados del presente proyecto contribuyen a "desmitificar" la producción de leche con pasturas, a promover las características diferenciales que tienen productos lácteos de base pastoril. A la vez estos resultados contribuyen a la elaboración de recomendaciones específicas para el manejo más adecuado de las pasturas a fin de mejorar la productividad y reducir las emisiones.

Este proyecto ha generado algunos productos y otros se encuentran en proceso de elaboración.

Como productos ya generados se destacan:

- José Luis Bigot, Diego Fontes y Josefina Montini. Ambiente ruminal y emisiones de metano en vacas lecheras alimentadas con dietas mixtas (pastura + ración totalmente mezclada). Tesis de Grado Facultad de Veterinaria, 2023. Directores V. Ciganda y G. Fernández.
- Casarotto G., Véliz P., López A., Bonfiglio C., Vieitez I., Britos A., Repetto J.L., Carro S., and Cajarville C. Milk's fatty acid profile due to the inclusion of pasture in the diet of dairy cows fed with a TMR. *J. Dairy Sci.*, 2023, 106, Suppl. 1: 333
- Casarotto G., Bonfiglio C., López A., Véliz P., Vieitez I., Britos A., Repetto J.L., Carro S., and Cajarville C. Inclusion of pasture in dairy cow's diet: fatty acid profile of Danbo-type cheese. *J. Dairy Sci.*, 2023, 106, Suppl. 1: 244-245
- C. Moreira, L. Toledo, C. Cajarville, A. Britos. 2023. Effect of replacing TMR with mid-vegetative or early bud lucerne in rumen fermentation using the rumen simulation technique (RUSITEC). 11th International Symposium on the Nutrition of Herbivores – ISNH 2023.
- Fernandez-Turren G., Repetto J.L., Véliz P., Montini J., Simon C., Mariotta J., Ciganda V., Cajarville C. 2024. Replacement of total mixed ration with fresh alfalfa on productive performance, nutrient utilization, ruminal environment, and methane emissions of dairy cows. The 75th EAAP Annual Meeting, September 2024 - Florence, Italy (enviado).
- Se presentaron además los resultados del proyecto en seminarios, conferencias en congresos y seminarios de posgrado, realizados en Uruguay, Brasil, México, Italia y España.

Otros productos que aún se encuentran en elaboración son los siguientes:

- Tesis Doctorado en marcha: Gabriela Cassaroto. Estrategias de alimentación animal para mejorar el perfil de ácidos grasos en leche fresca y quesos elaborados con las mismas. Programa de Posgrados de la Facultad de Veterinaria. Directora: C. Cajarville, Co-Directores D. Hirigoyen y S. Carro. Defensa prevista: 2° semestre de 2024.

- Tesis de Maestría en marcha: Camila Moreira. Impacto de la incorporación de pasturas de alta calidad sobre el ambiente ruminal y la producción de metano en un sistema de rumen artificial. Programa de Posgrados de la Facultad de Veterinaria. Director: A. Britos, Co-Directora S. Fernández-Ciganda. Defensa prevista: 1º semestre de 2024
- Tesis de Grado Facultad de Veterinaria. Agustina López y Clara Bonfiglio. Inclusión de pastura en la dieta de vacas lecheras: efectos sobre el perfil de ácidos grasos en quesos madurados. Directora: Gabriela Cassarotto, Co-Director: S. Carro, C. Cajarville
- Tesis de Grado Facultad de Veterinaria. Nicolás Donadío y Santiago Moreira. Consumo y digestibilidad de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas mixtas (pastura + ración parcialmente mezclada). Tesis de Grado Facultad de Veterinaria. Director: Gonzalo Fernández, Co-Directora C. Cajarville.
- Fernández G., Repetto J.L., Zunino P., Fernández-Ciganda S., Montini J., Ciganda V. Cajarville C. Replacement of total mixed ration with fresh alfalfa on productive performance, nutrient utilization, ruminal environment and methane emissions of dairy cows. Manuscrito en etapas de corrección para ser enviado a la Journal of Dairy Science (o similar) en el 1º semestre de 2024.
- Casarotto G., Vieitez I., Britos A., Repetto J.L., Carro S., Cajarville C. Milk and Danbo cheese fatty acid profile due to the inclusion of pasture in the diet of dairy cows fed with a TMR. Manuscrito en redacción para ser enviado a la Journal of Dairy Science (o similar) en el correr de 2024.
- Moreira C., Fernández-Ciganda S., Zunino P., Cajarville C., Britos A. Impact of the phenological stage of alfalfa used in mixed rations for dairy cows diet on the rumen environment and methane production using a rumen simulation technique (RUSITEC) system. Manuscrito en redacción para ser enviado a la Animal Feed Science and Technology (o similar) en el correr de 2024.
- Material de difusión: Se encuentran en elaboración 2 videos para la difusión de los resultados del proyecto. En ellos se explicará el metano como GEI, el papel de los rumiantes y rol de la alimentación y la dieta como estrategia de mitigación. Uno de los videos estará diseñado para técnicos y estudiantes de ciencias agrarias, y tomadores de decisiones. El otro con un perfil de difusión para la población en general.

Conclusiones y recomendaciones

A nivel de sistema de simulación ruminal (RUSITEC), las diferencias más importantes se dieron entre la RTM y la dieta mixta, produciendo la RTM un ambiente ruminal que a priori podría derivar en una producción de leche más alta. Sin embargo, es dudoso que la magnitud de las diferencias observadas se tradujera a nivel productivo. En el experimento in vivo, se constató que la sustitución de un 40% de RTM por alfalfa fresca en vacas lecheras permitió obtener un ambiente ruminal similar al de vacas alimentadas únicamente con RTM, sin incrementar las emisiones de metano ni disminuir la producción de leche, con el beneficio de aumentar las concentraciones de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana tanto en la leche como en los quesos. En los quesos danbo madurados el beneficio de la inclusión de pastura se mantuvo, manteniéndose este beneficio luego de 90 días de maduración. Estos resultados contribuyen a “desmitificar” la producción de leche con pasturas, a promover las características diferenciales que tienen productos lácteos de base pastoril. A la vez estos resultados contribuyen a la elaboración de recomendaciones específicas para el manejo más adecuado de las pasturas a fin de mejorar la productividad y reducir las emisiones.

Referencias bibliográficas

- Aguerre M., Cajarville C., Kozloski G.V., Repetto J.L. 2013. Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. *Anim.Feed Sci.Technol* 186:12– 19.
- Amaral G.A., Kozloski G.V., Santos A., Castagnino D, Fluck A, Farenzena R, Alves T, Mesquita FR. 2011. Metabolizable protein and energy supply in lambs fed annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) supplemented with sources of protein and energy. *J.Agric.Sci.* 149:519–527.
- Bargo F., Muller L.D., Varga G.A., Delahoy J.E., Cassidy T.W. 2002. Ruminant digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J.Dairy Sci.* 85:2964–2973.
- Cajarville C., Britos A., Errandonea N., Gutierrez L., Cozzolino D., Repetto J.L. 2015. Diurnal changes in water-soluble carbohydrate concentration in Lucerne and tall fescue in autumn and the effects on in vitro fermentation. *New Zeal.J.Agric.Res.* 58:281-291.
- Capper J.L., Cady R.A., Bauman D.E. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J.Anim.Sci.* 87:2160–2167.
- Clark H., Kelliher F., Pinares-Patiño C. 2011. Reducing CH₄ Emissions from Grazing Ruminants in New Zealand: Challenges and Opportunities. *Asian-Australasian J.Anim.Sci.*24:295-302.
- Dini Y., Gere J., Briano C., Manetti M., Juliarena P., Picasso V., Gratton R., Astigarraga L. 2012. Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing Pastures Rich in Legumes or Rich in Grasses in Uruguay. *Animals* 2:288-300.
- Dini Y., Gere J.I, Cajarville C., Ciganda V. 2017. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America.*Anim.Prod.Sci.* <https://doi.org/10.1071/AN16803->
- Dini Y., Cajarville C., Gere J., Fernandez S., Fraga M., Pravia M.I, Navajas E.A., Ciganda V.S. 2019. Association between residual feed intake (RFI) and enteric methane emissions in Hereford steers. *Transl.Anim.Sci.* <https://doi.org/10.1093/tas/txy111>.
- Fajardo M., Mattiauda D., Motta G., Genro T.C., Meikle A., Carriquiry M., Chilbroste P. 2015. Use of mixed rations with different access time to pastureland on productive responses of early lactation Holstein cows. *Livest.Sci.*181:51–57.
- García S.C., Santini F.J., Elizalde J.C. 2000. Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J.Dairy Sci.* 83:746-755.
- Hammond K., Hoskin S., Burke J., Waghorn G., Koolaard J., Muetzel S. 2011. Effects of feeding fresh white clover (*Trifolium repens*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Anim.Feed Sci.Technol.*166:398-404.
- Horadagoda A., Fulkerson W.J., Nandra K.S., Barchia I.M. 2009. Grazing preferences by dairy cows for 14 forage species. *Anim.Prod.Sci.*49:586–594.
- Kolver E.S. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proc.Nutr.Soc.* 62:291–300.
- Kolver E.S., Muller L.D. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J.Dairy Sci.*81:1403–1411.
- Lovett D.K., Stack L.J., Lovell S., Callan J., Flynn B., Hawkins M., O'Mara F.P. 2005. Manipulating enteric methane emissions and animal performance of late-lactation dairy cows through concentrate supplementation at pasture. *J.Dairy Sci.* 88:2836–2842.

- Martin C., Morgavi D., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4:351-365.
- Mendoza A., Cajarville C., Repetto J.L. 2016a Digestive response of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration. *J.Dairy Sci.*99:8779–8789.
- Mendoza A., Cajarville C., Repetto J.L. 2016b Short communication: Intake, milk production, and milk fatty acid profile of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration. *J.Dairy Sci.*99:1938–1944.
- Mendoza A., Cajarville C., Repetto J.L. 2017. Behaviour of cows fed a total mixed ration with different access time to fresh forage. *New Zeal.J.Agric.Res.*61:102-108.
- Moorby J., Fleming H., Theobald V., Fraser M. 2015. Can live weight be used as a proxy for enteric methane emissions from pasture-fed sheep? *Sci.Rep.*5:1-9.
- Morales-Almaraz E., Soldado A., Gonzalez A., Martínez A., Domínguez I., de la Roza B., Vicente F. 2010. Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *J.Dairy Res.*77:225–230.
- Muñoz C., Hube S., Morales J., Yan T., Ungerfeld E. 2015. Effects of concentrate supplementation on methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livest.Sci.*175:37–46.
- C.J. Newbold, E. Ramos-Morales. 2020 Review: Ruminal microbiome and microbial metabolome: effects of diet and ruminant host, *Animal*.14, Suppl. 1: s78-s86.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington D.C., USA.
- O'Neill B.F., Deighton M.H., O'Loughlin B.M., Mulligan F.J., Boland T.M., O'Donovan M., Lewis E. 2011. Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *J.Dairy Sci.*94:1941–1951.
- Orcasberro M.S., Loza C., Gere J., Juliarena P., Alvarez-Oxiley A., Modernel P., Soca P., Picasso V., Astigarraga L. 2017. Methane emissions and dry matter intake in pregnant heifers grazing on rangeland. 3^a Conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. INIA-La Estanzuela.
- Pastorini M., Pomiés N., Repetto J.L., Mendoza A., Cajarville C. 2019. Productive performance and digestive response of dairy cows fed different diets combining a total mixed ration and fresh forage. *J. Dairy Sci.* 102: 4118–4130.
- Pérez-Ruchel A., Repetto J.L., Cajarville C. 2017. Supplementing high quality fresh forage to growing lambs fed a total mixed ration diet led to higher intake without altering nutrient utilization. *Animal*.11:2175–2183.
- Santana A., Cajarville C., Mendoza A., Repetto J.L. 2023. Including 8 hours of access to alfalfa in 1 or 2 grazing sessions in dairy cows fed a partial mixed ration: Effects on intake, behavior, digestion, and milk production and composition. *J. Dairy Sci.* 106: 6060–6079.
- Stewart R.D., Auffret M.D., Warr A., Wiser A.H., Press M.O., Langford K.W., Liachko I., Snelling T.J., Dewhurst R.J., Walker A.W., Roehe R., Watson M. 2018. Assembly of 913 microbial genomes from metagenomic sequencing of the cow rumen. *Nature communications*.10.1038/s41467-018-03317-6.
- Vibart R.E., Fellner V., Burns J.C., Huntington J.B., Green J.T. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *J.Dairy Res.*75:471–480.
- Vibart R.E., Burns J.C., Fellner V. 2010. Effect of replacing total mixed ration with pasture on ruminal fermentation. *Prof.Anim. Sci.* 26:435–442.
- Vlaming J. 2008. Quantifying variation in estimated methane emission from ruminants using the SF₆ tracer technique. Thesis

Doctoral. Palmerston North, New Zealand, Massey University.

Yáñez-Ruiz D., Macías B., Pinloche E., Newbold C. 2010. The persistence of bacterial and methanogenic archaeal communities residing in the rumen of young lambs. *FEMS Microbiol.Ecol.*72:272–278.

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)