



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**COMPARACIÓN DE DOS ESTRATEGIAS DE ASIGNACIÓN
DE CONCENTRADO EN VACAS LECHERAS A PASTOREO:
SUPLEMENTACIÓN GRUPAL O INDIVIDUALIZADA**

RAMIRO ORIHUELA PERUCHENA

TESIS DE MAESTRÍA EN NUTRICIÓN DE RUMIANTES

URUGUAY
2021



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**COMPARACIÓN DE DOS ESTRATEGIAS DE ASIGNACIÓN
DEL CONCENTRADO EN VACAS LECHERAS A PASTOREO:
SUPLEMENTACIÓN GRUPAL E INDIVIDUALIZADA**

Ramiro Orihuela Peruchena

**Alejandro Mendoza, Ing Agr MSc
PhD (Director de Tesis)**

**Analía Pérez-Ruchel, DCV MSc
PhD (Co-directora de Tesis)**

INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

Alsiane Capelesso; (PhD)

Facultad de Veterinaria, UdelaR-Uruguay

Henrique Ribeiro Filho; (PhD)

Universidade do Estado de Santa Catarina-Brasil

Diego Mattiauda; (PhD)

Facultad de Agronomía, Udelar-Brasil

ACTA DE DEFENSA DE TESIS



ACTA DE TESIS DE MAESTRÍA

ORIENTACIÓN: NUTRICIÓN DE RUMIANTES

LUGAR Y FECHA DE LA DEFENSA: PLATAFORMA ZOOM, 30/09/2021

TRIBUNAL: Alsiane Capelesso, Presidente, Henrique Ribeiro Filho, Diego Mattiauda

CI	NOMBRE	CALIFICACIÓN	NOTA
4508458	ORIHUELA PERUCHENA, RAMIRO	S.S.S.	12

PRESENTADOS	NO PRESENTADOS	APROBADOS	APLAZADOS	INSCRIPTOS
1	0	1	0	1

TRIBUNAL

FIRMA

Alsiane S. Capelesso

Henrique M.N. Ribeiro Filho

Diego A. Mattiauda

NOTA: La calificación mínima para aprobar la defensa es B.B.B (6)

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a:

A mi familia (Rafael Orihuela, Blanca Peruchena, Rodrigo Orihuela y Tania Orihuela) y a mi compañera Lucía Menóni quienes me apoyaron en este proceso. A mi gran amigo y colega Diego Armand Ugón quien fue un pilar importante en este trabajo de tesis colaborando desde todo punto de vista.

A mis directores Alejandro Mendoza y Analía Pérez-Ruchel por guiarme durante todo este proceso de aprendizaje constante.

Al Institución Nacional de Investigación Agropecuaria “La Estanzuela” por confiar en mi al otorgarme una beca de maestría y brindarme los medios necesarios para llevar adelante el trabajo de campo, laboratorio (Laboratorio de Nutrición Animal y de Calidad de Leche) y oficina.

Al grupo de investigación del Programa Nacional de Lechería del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) liderado por Santiago Fariña quienes rápidamente me hicieron uno más dentro del mismo y colaboraron en varios aspectos en este trabajo.

También quisiera agradecer al equipo de profesionales del Instituto de Producción Animal de Facultad de Veterinaria (IPAV - UdelaR) donde me permitieron trabajar en el Laboratorio de Nutrición Animal.

Por último pero no menos importantes, quisiera agradecer al personal del tambo, entre ellos a los tamberos Tomas López (Tomy), Esteban López (Lobo) y a los encargados del tambo de INIA La Estanzuela; Eduardo Vidal y Marcelo Pla por brindarme su colaboración constantemente en el trabajo de campo y que sin su ayuda no hubiese sido posible llevar a cabo este trabajo.

A todos, ¡muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
TABLA DE CONTENIDO	II
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	3
2.1 Suplementación en sistemas lecheros pastoriles	3
2.2. Efectos de la suplementación con concentrados energéticos en vacas lecheras en pastoreo	4
2.2.1 Efectos sobre el comportamiento y el consumo	4
2.2.2 Efectos sobre el ambiente ruminal	7
2.2.3 Efectos sobre el desempeño productivo	9
2.2.3.1 Factores relacionados con los alimentos	11
2.2.3.2 Factores relacionados con los animales	12
2.2.4 Efectos sobre la condición corporal	13
2.3 Estrategias de asignación del concentrado	14
2.3.1 Suplementación grupal de concentrados	14
2.3.2 Suplementación individualizada de concentrados	15
2.3.3 Comparación entre la suplementación GRU e IND	18
2.4 Síntesis de la información revisada	26
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	29
4.1 Hipótesis	29
4.2 Objetivos	29
4.2.1 Objetivo general	29
4.2.2 Objetivos específicos	29
5. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1 Diseño experimental	31
6.2 Mediciones	34
6.2.1 Comportamiento	34
6.2.2 Consumo de nutrientes	35
6.2.3 Ambiente ruminal	35
6.2.4 Producción y composición de leche	36
6.2.5 Eficiencia de uso de nutrientes y margen de alimentación	36
	II

6.2.6 Medidas corporales	36
6.2.7 Análisis de composición química de alimentos:	37
6.3 Análisis estadístico	37
7. RESULTADOS	39
7.1 Comportamiento	39
7.2 Consumo	40
7.3 Ambiente ruminal	42
7.4 Producción y composición de leche	43
7.5 Eficiencias de uso de nutrientes y margen de alimentación	45
7.6 Medidas corporales	47
8. DISCUSIÓN	49
8. CONCLUSIÓN	54
9. IMPLICANCIAS	55
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
11. ANEXOS	68

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS		Pág.
Cuadro I.	Composición química de los alimentos utilizados (datos expresados como medias \pm el desvío estándar, en g/kg MS, salvo que indique otra unidad)	32
Cuadro II.	Comportamiento ingestivo y postural (expresado como porcentaje del total de observaciones) de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales	38
Cuadro III.	Consumo de alimentos y nutrientes de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales	39
Cuadro IV.	pH, concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y concentraciones de N-NH ₃ en líquido ruminal de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales	40
Cuadro V.	Producción de leche y composición en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales	42
Cuadro VI.	Eficiencias de uso de nutrientes, ingreso bruto, costos y margen de alimentación en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales	44
Cuadro VII.	Peso vivo (PV) y condición corporal (CC) de vacas lecheras a pastoreo, suplementadas con concentrados en base a los requerimientos grupales o individualizados	45
FIGURAS		Pág.
Figura 1.	Consumo diario de materia seca (MS) de concentrado en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrados en base a los requerimientos grupales (GRU) e individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar (*: tendencia a diferencia entre tratamientos, P<0,09).	39
Figura 2.	Producción de proteína láctea de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales (GRU) o individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar.	42
Figura 3.	Ingreso bruto (IB), costo de pastura (Cp), costo de concentrado (Cc) y costo de alimentación (Ca) de vacas lecheras a pastoreo con suplementación en base a los requerimientos grupales (GRU) o individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar (*: tendencia a diferencia entre tratamientos, P<0,08).	45

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de vacas lecheras de lactancia media en pastoreo durante primavera, suplementadas con concentrado mediante dos estrategias: en base a sus requerimientos individuales o grupales. Se utilizaron 30 vacas lecheras Holstein-Friesian, que fueron asignadas a uno de dos tratamientos de acuerdo con un diseño de bloques completos al azar. Las vacas pastorearon una pradera de alfalfa y dactylis, y fueron suplementadas con un concentrado comercial que se ofreció en la sala de ordeño de forma individual. Los dos tratamientos se denominaron: suplementación individualizada (**IND**), donde la asignación del concentrado se realizó en función de los requerimientos individuales, estimados en base a parámetros fisiológicos y productivos obtenidos en la semana previa, y suplementación grupal (**GRU**), donde la asignación del concentrado se realizó en función de los requerimientos promedio del grupo de vacas, y ésta fue fija para todas las vacas durante todo el experimento. Se evaluó el comportamiento en pastoreo, la ingesta de nutrientes, el ambiente ruminal, la producción y la composición de la leche, el peso, la condición corporal, la eficiencia de uso del concentrado y de los nutrientes, y el margen de alimentación. Se observó que las vacas del tratamiento IND fueron más eficientes en el uso de concentrado en comparación con GRU, ingiriendo 38 gramos menos de concentrado por litro de leche corregido por sólidos. Las vacas GRU presentaron mayores concentraciones ruminales de N-NH₃ que IND, pero ninguna de las demás variables evaluadas en este trabajo difirieron entre tratamiento. Se concluye que la suplementación IND, en comparación a GRU, mejoró la eficiencia en el uso del concentrado por litro de leche corregida de sólidos producida, pero no aumentó la producción de sólidos en vacas lecheras de lactancia media a pastoreo durante la primavera.

Palabras clave: ingesta de pastura, estrategias de suplementación, producción láctea y eficiencia alimentaria.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the response of mid-lactation grazing dairy cows, during spring, supplemented with concentrates under two strategies: based on their individual or groupal requirements. Thirty Holstein-Friesian dairy cows were assigned to one of two treatments according to a randomized complete block design. The cows grazed an alfalfa and dactylis grassland, and were supplemented with a commercial concentrate that was individually offered in the milking parlor. The two treatments were: individualized supplementation (**IND**), where the allocation of the concentrate was made based on individual requirements, estimated based on physiological and productive parameters obtained in the previous week, and groupal supplementation (**GRO**), where the allocation of the concentrate was made based on the average requirements of the group of cows, and was fixed for all cows throughout the experiment. Grazing behavior, nutrient intake, ruminal environment, milk production and composition, weight and body condition, the efficiency of use of concentrate and nutrients, and the feed margin were evaluated. It was observed that cows from the IND treatment were more efficient in the use of concentrate compared to GRO, ingesting 38 less grams of concentrate per liter of milk corrected for solids. GRO cows presented higher ruminal concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ than IND, but none of the other variables evaluated in this work differed between treatments. It is concluded that IND supplementation, compared to GRO, improved the efficiency in the use of concentrate per liter of solids corrected milk produced, but did not increase the production of solids in grazing dairy cows from mid-lactation during spring.

Keywords: cattle, feeding, flat-rate, pasture intake, milk response and feeding efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de leche comercial en Uruguay para el ejercicio 2018/2019 fue de 2168 millones de litros anuales, la cual ha presentado una tasa de crecimiento de 3,2% desde 1985 al año 2019 (DIEA, 2020). Este crecimiento ha sido explicado por una mayor productividad por hectárea, asociado a un aumento en la carga animal de los sistemas y a una mayor productividad por vaca masa (Aguerre et al., 2017). En efecto, la superficie total destinada para a la producción de leche ha disminuido en un 36,3%, de 1196 a 762 mil hectáreas, al igual que el número de productores de leche, que pasó de 7102 a 3423 (-48,2%), en el período 1985/2019 (DIEA, 2020). Estos números sugieren que los sistemas lecheros de Uruguay acompañan a las tendencias mundiales, donde se reduce el número de productores, pero aumenta el tamaño de la explotación y la cantidad de vacas por predio (Clark et al., 2007; Klerkx y Nettle, 2013). Cabe destacar que el principal destino de la producción de leche y los derivados fabricados es la exportación (70% del total), generando 662.485.000 de dólares en promedio para los últimos dos ejercicios (2018-2019), lo que representa el 8,5% de las exportaciones de productos agropecuarios; el resto de la producción (25 - 30%) se destina al consumo interno (DIEA, 2020).

Los sistemas lecheros uruguayos utilizan pasturas de especies templadas de alta calidad, compuestas por gramíneas y/o leguminosas, las cuales representan más del 50% de la dieta, y que en su mayor proporción son consumidas mediante pastoreo directo (Fariña y Chilibróste, 2019). La utilización de pasturas en sistemas lecheros intensivos presenta múltiples beneficios, entre ellos su bajo costo (Finneran et al., 2012). Ello contribuiría a mejorar la rentabilidad de los sistemas lecheros (Dillon et al., 2006) y explicaría el mantenimiento de la competitividad de la industria láctea uruguaya a nivel internacional en los últimos 30 años, más allá de que los costos de producción han ido en aumento (Fariña y Chilibróste, 2019). Además, las pasturas templadas utilizadas son de alto valor nutritivo para las vacas lecheras debido a su alta digestibilidad de la materia orgánica (**MO**) y de las fracciones nitrogenadas (Hoffman et al., 1993), y permiten incrementar los componentes nutraceuticos de la leche, como por ejemplo la concentración de ácidos grasos con propiedades anticarcinogénicas (Elgersma et al., 2006; Mendoza et al., 2016). Por último, la alimentación a base de pasturas promovería el bienestar animal (Rushen, 2008), y reduciría el impacto de la producción animal sobre el ambiente, por ejemplo, a través de disminuir las pérdidas de nitrógeno por lixiviación (Soder y Rotz, 2001). Estas ventajas explicarían el renovado interés a nivel mundial por la inclusión de pasturas frescas en la dieta de vacas lecheras (Cajarville et al., 2012).

La rentabilidad de los sistemas lecheros pastoriles depende de una correcta utilización de la pastura, lo que se logra combinando una adecuada carga animal y época de parto, para hacer coincidir la oferta de pastura con la demanda de nutrientes (García y Holmes, 1999). Pero la producción de forraje rara vez coincide completamente con la demanda y, el excedente forrajero que se genera en las estaciones de mayor crecimiento debe ser cosechado como heno o ensilaje o se deben proporcionar suplementos durante los

momentos de déficit de pasturas (García y Holmes, 1999). Es por ello que, más allá de las ventajas, las variaciones estacionales en disponibilidad y calidad de las pasturas templadas (Van Soest, 1994) hace difícil asegurar un aporte continuo de nutrientes a los animales (Kolver y Muller, 1998; Bargo et al., 2002).

Adicionalmente, en la mayoría de los sistemas de producción, incluidos aquellos basados en el pastoreo, la selección genética del ganado lechero por años fue realizada en función de la producción individual de leche, a través de la incorporación de material genético de origen norte americano (Shook, 2006); este también es el origen genético predominante del ganado utilizado en los sistemas lecheros uruguayos (INALE, 2014). Sin embargo, la oferta de forraje a los animales no ha aumentado en forma proporcional al aumento en producción, y, por lo tanto, de los requerimientos de nutrientes (NRC, 2001). Por este motivo se considera que el consumo de materia seca (**MS**) y de energía metabolizable son los factores más limitantes en la producción de la vaca lechera en sistema pastoriles con bajo a medio nivel de suplementación (Baudracco et al., 2010), en particular para aquellos animales de alto potencial productivo (Kolver y Muller, 1998).

Por lo tanto, debido al desbalance entre la oferta de pastura y la demanda de nutrientes, para cubrir las exigencias nutricionales de las vacas lecheras manejadas en sistemas pastoriles, particularmente energía, es necesario recurrir al uso de suplementos (Dillon, 2006). Es el caso de la mayoría de los sistemas lecheros pastoriles uruguayos, que utilizan concentrados y forrajes conservados (25 y 19% de la dieta anual, respectivamente; Fariña y Chilibróste 2019). Sin embargo, estos alimentos, y en particular los concentrados, son considerablemente más caros que las pasturas (Finneran et al., 2012), y se prevé que el precio de los cereales aumente con el tiempo debido mayormente al aumento en la población mundial y al mayor uso para la producción de biocombustibles (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Por lo tanto, es preciso asegurar que los mismos sean utilizados eficientemente por el ganado.

Una posible estrategia que podría conducir a un uso más eficiente del concentrado es la que se conoce como “suplementación individualizada”. En oposición a la “suplementación grupal”, donde todos los animales de un grupo reciben la misma cantidad de suplemento, el cual es calculado en base a las características promedio de grupo, en la suplementación individualizada la cantidad de suplemento que recibe un animal se determina en base a sus requerimientos individuales (Hills et al., 2015). Sin embargo, a pesar de las ventajas teóricas de la suplementación individualizada, la información disponible es contradictoria, y son muy escasos los estudios que han utilizado vacas lecheras consumiendo pasturas de alta calidad de forma restringida, los que además se ha enfocado primordialmente en aspectos productivos.

En esta tesis se comparan y evalúan dos estrategias contrastantes de asignación del concentrado (suplementación individualizada o grupal) en vacas lecheras en pastoreo, para

estudiar las respuestas de los animales en términos del comportamiento ingestivo, la ingesta de nutrientes, el ambiente ruminal, la producción y composición de leche, la eficiencia de uso de los nutrientes, y el margen de alimentación.

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

2.1 *Suplementación en sistemas lecheros pastoriles*

El uso de suplementos en la alimentación de rumiantes es una práctica frecuente en los sistemas de base pastoril debido al desbalance que existe frecuentemente entre la disponibilidad forrajera y los requerimientos nutricionales de los animales, siendo este desbalance cuantificable y potencialmente corregible mediante la suplementación (Viglizzo, 1981). Los principales objetivos de la suplementación, a nivel de sistema productivo, son superar las restricciones en cantidad y/o calidad de pasturas asociadas a las estaciones del año, mejorando así el consumo total de MS y de energía individual, que son las principales limitantes productivas en sistemas pastoriles (Bargo et al., 2002; Bargo et al., 2003). Además, la adición de suplementos permite aumentar la dotación o carga animal por hectárea, que a su vez tiene un importante rol sobre los resultados físicos y económicos de los sistemas (Macdonald et al., 2011). Pero el aumento de carga animal podría generar un conflicto entre un enfoque que busca favorecer la producción por animal o por hectárea (Dixon y Stockdale, 1999); en este caso, la suplementación contribuiría positivamente al mantener un buen desempeño individual y, a la vez, sostener elevadas producciones por unidad de superficie (Bargo et al., 2003). Adicionalmente, la suplementación de vacas lecheras permitiría reducir la presión de pastoreo para mejorar el crecimiento posterior de las pasturas, mantener o mejorar la condición corporal (CC) para preñar las vacas, mejorar el desempeño de las futuras lactancias, o la persistencia de las curvas de producción láctea (Bargo et al., 2003; Kellaway y Harrington, 2004).

Los alimentos suplementarios pueden clasificarse en dos grandes grupos de acuerdo a su contenido de fibra cruda (FC): los forrajes y los concentrados (Chamberlain y Wilkinson, 1996). Los forrajes contienen una proporción de FC mayor a 18% y a su vez, se pueden subdividir en cultivos forrajeros, forrajes toscos y forrajes conservados, los que son principalmente producidos en el predio (Mieres et al., 2004). Su alto contenido de FC hace que sean alimentos voluminosos, lo puede llevar a limitar el consumo voluntario por efecto de llenado, y además usualmente tienen una baja densidad de energía (Dado y Allen, 1995).

En cambio, los concentrados presentan una menor concentración de FC y una mayor tasa de digestión que los forrajes, pudiendo ser agrupados de acuerdo con su contenido de nutrientes como energía y proteína cruda (PC), en concentrados energéticos o proteicos, respectivamente. Los concentrados son usualmente utilizados en los sistemas productivos pastoriles principalmente por su alto valor nutritivo y por su facilidad de suministro (Morrison y Patterson, 2007), sobre todo en animales de alto potencial genético que

requieren una mayor concentración nutricional por unidad de suplemento (Chamberlain y Wilkinson, 1996). La cantidad de concentrado a suplementar debería ajustarse a las condiciones de pastoreo, así como al mérito genético del animal, buscando de esta forma optimizar la respuesta a su uso (Kennedy et al., 2003).

En los sistemas lecheros pastoriles, los concentrados mayormente utilizados son los concentrados energéticos, y dentro de estos se subdividen en: granos de cereales (maíz, sorgo, avena, trigo, cebada) o sus subproductos de agroindustria (semitín, afrechillos de arroz, trigo o maíz, cascarilla de soja, entre otros subproductos de molienda seca), grasas y aceites (aceites u oleínas de soja, girasol o colza), otros (melaza, suero de quesería y pulpa de citrus) (Mcdonald et al., 2006 modificado). Suelen tener concentraciones energéticas elevadas y una concentración de proteína baja a moderada (NRC, 2001). Por otra parte, los suplementos proteicos, por definición, tienen más de 20% de PC de la MS, y pueden derivar de la extracción de aceites de semillas de oleaginosas, siendo estos residuos ricos en proteína de buena calidad (200 a 500 g/kg, como la harina de soja, colza o girasol). Otros tipos de concentrados proteicos son las semillas de leguminosas (habas y guisantes) y compuestos nitrogenados no proteicos (urea) (Mcdonald et al., 2006; modificado). Estos podrían ser necesarios en una amplia variedad de situaciones productivas, desde suplementación en sistemas de producción de carne extensivos con pasturas nativas hasta en sistemas lecheros intensivos que buscan producciones individuales elevadas, habiendo evidencia de limitantes a nivel de aporte de aminoácidos en la dieta (NRC, 2001). Al igual que los concentrados energéticos, los diferentes concentrados proteicos podrían formar parte de los suplementos o raciones comerciales “balanceadas” como fuente de proteína vegetal. Otros tipos de concentrados que forman parte en una proporción minoritaria, aunque relevante, en la dieta de rumiantes, son los minerales, vitaminas y aditivos (modificadores de la fermentación ruminal, probióticos, entre otros) los cuales presentan funciones específicas. Frecuentemente, distintos tipos de concentrados se combinan para constituir los denominados suplementos o raciones “balanceadas” que son comercializados.

2.2. Efectos de la suplementación con concentrados energéticos en vacas lecheras en pastoreo

2.2.1 Efectos sobre el comportamiento y el consumo

Comprender como las vacas lecheras modifican su comportamiento en pastoreo como respuesta a los suplementos es importante para el planteo de estrategias de gestión que optimicen el beneficio de la suplementación (Sheahan et al., 2011). El pastoreo es una actividad predominantemente diurna: 65 a 100% se desarrolla entre las 0600 y las 1900 h, en un amplio rango de temperaturas ambientales, regímenes de suplementación, y manejos (Krysl y Hess, 1993). El pastoreo se encuentra biológicamente asociado al fotoperíodo, y diariamente se realizan tres o cuatro grandes sesiones de pastoreo (Chilibroste et al., 2015). La mayor proporción de consumo diario se obtiene durante 2 grandes sesiones, las cuales

son al amanecer y antes del atardecer (Sheahan et al., 2011). Esto difiere del comportamiento de vacas en confinamiento, las que realizan ingestas pequeñas pero con mayor frecuencia, dedicando menos tiempo a comer y más a rumiar (Thorne et al., 2003).

El comportamiento ingestivo se ve afectado por varios factores que gobiernan el comienzo y cese de sucesivos episodios de pastoreo, entre ellos la suplementación (Bargo et al., 2003; Sheahan et al., 2011). En este sentido, se ha identificado que el aumento de la cantidad de concentrado consumido reduce el tiempo de pastoreo en 12 min por cada kg MS de suplemento (Bargo et al., 2003). Esta disminución en el tiempo de pastoreo se describe como desuniforme durante el día, viéndose reducida la primera sesión de pastoreo de la mañana, pero no así la sesión de pastoreo previo al atardecer (Sheahan et al., 2011). Además, es esperable que el uso de concentrados energéticos reduzca el tiempo de rumia debido a menor consumo del alimento voluminoso, aunque los resultados obtenidos para esta actividad en vacas suplementadas con concentrados energéticos sobre pasturas templadas son inconsistentes; en efecto, se ha registrado tanto una reducción (McCarthy et al., 2007), aumento (Sheahan et al., 2011) o ausencia de cambios en el tiempo de rumia (Soca et al., 2014) en animales suplementados respecto a no suplementados. Esto podría deberse a que la rumia se relaciona con la composición química de los alimentos, como el contenido de fibra detergente neutro (**FDN**), la tasa de degradabilidad ruminal (Beauchemin y Rode, 1997), la composición física, el tamaño de partícula (McCarthy et al., 2007), o aspectos de manejo como el momento de la suplementación (Soca et al., 2014). Las características de las pasturas templadas (alta digestibilidad de la fracción fibrosa) podrían generar cierta facilidad para la formación y deglución del bolo alimenticio, tanto en vacas suplementadas como no suplementadas (Heublein et al., 2017). Adicionalmente, no se ven alteradas ni la tasa de bocado ni el peso del bocado por el uso de suplementos en vacas lecheras a pastoreo (Rook et al., 1994; Gibb et al., 2002).

Con respecto a la ingesta o el consumo de pastura se identifica como el factor principal que limita la producción de leche de vacas lecheras a pastoreo (Dillon, 2006). Según Baudracco et al. (2010) la ingesta de pasturas se ve afectada por factores del ambiente como la lluvia y la temperatura, las características de la propia pastura como la disponibilidad y calidad, características de los animales; que incluye al potencial genético para la producción de leche, etapa de lactancia, peso vivo y paridad y además numerosos factores de manejo afectan a la ingesta como es la asignación de pastura y la asignación de suplementos, siendo estos últimos de gran importancia. En una baja asignación de pastura, factores no nutricionales relacionados con la estructura de la pastura determinan la ingesta. Mientras que una alta asignación de pastura, la ingesta aumenta progresivamente a una tasa más baja a medida que aumenta la asignación de pastura y la ingesta parece estar controlada por factores nutricionales como la calidad de la pastura y la demanda metabólica de los animales a través de dos mecanismos básicos: llenado del rumen y regulación metabólica de la ingesta (Mertens, 1987). Estos dos mecanismos cambian su importancia dependiendo de la calidad de la pastura, donde pasturas con un mayor contenido de FDN presentan una menor tasa de digestión y mayor llenado ruminal.

Además, si la asignación de pastura es alta, con alta concentración de FDN, la ingesta está limitada por la capacidad física del animal, mientras que para pasturas con baja concentración de FDN; la ingesta se ve controlada por las demandas fisiológicas de energía del animal, es decir, características de los animales (Mertens, 1987).

Específicamente en sistemas lecheros pastoriles con suplementación se ha descrito que la disminución en el tiempo de pastoreo de vacas suplementadas, que resulta en un menor consumo de pastura (Sheahan et al., 2011), no parecería estar relacionado con la distensión física del rumen (Van Soest 1994), ni tampoco la oxidación hepática de nutrientes parecería actuar como un mecanismo de control de la ingestión en vacas lecheras a pastoreo (Soutto et al., 2020). Pero el cese de la sesión de pastoreo sí es consistente con cambios en las concentraciones de diversos factores neuroendócrinos (Faverdin, 1999). Es posible que el aumento del propionato ruminal como consecuencia de la suplementación, pueda ser responsable de la disminución en las concentraciones de ghrelina circulante en las vacas lecheras (que es un potente factor orexigénico), ya sea directamente o a través del aumento de la gluconeogénesis (Fahey y Berger, 1988), o de la secreción de insulina (Sano et al., 1993, Blom et al., 2005). Esto reduciría el apetito, el tiempo de pastoreo y la ingesta de pastura por parte del animal. En efecto, Sheahan et al. (2013 a) relacionaron las concentraciones diurnas plasmáticas de ghrelina con el comportamiento de pastoreo, donde su concentración disminuyó durante el pastoreo de la mañana, coincidiendo con la disminución en la ingesta, y aumentó su concentración antes de la puesta del sol, a pesar del estado energético positivo de los animales. Por lo tanto, la ghrelina e insulina podrían desempeñar un papel importante en la regulación del comportamiento de alimentación y la homeostasis energética de vacas lecheras a pastoreo (Sugino et al., 2002; Gregorini et al., 2006).

Algunos autores (Viglizzo, 1981) subdividen a la respuesta generada por los concentrados energéticos a nivel de consumo de MS de pastura y por lo tanto, del consumo de MS total, en respuestas teóricas de: adición, sustitución, adición y sustitución, adición con estímulo y sustitución con depresión. Cuando hay una respuesta de adición, el consumo de concentrado no altera el consumo de MS de forraje, y, por lo tanto, el consumo de MS total aumenta respecto a la situación sin suplementación; esto ocurre cuando el animal obtiene de la pastura una cantidad reducida de nutrientes, debido a una baja oferta o digestibilidad de la pastura, o un reducido tiempo de pastoreo, con lo que en este caso la inclusión del concentrado permitiría incrementar el desempeño individual. En la respuesta de sustitución, el consumo de forraje disminuye en la misma proporción que en la que se incorpora el concentrado, por lo que el consumo de MS total es similar respecto a la situación sin suplemento. Esta respuesta ocurre cuando el animal dispone de abundante pastura, de buena calidad, y está próximo a cubrir sus requerimientos solo a partir de la pastura; en este caso el desempeño animal no se afectará, y solo se podría impactar sobre la carga animal. Si el consumo de forraje disminuye pero el consumo total de MS aumenta al incorporar el concentrado, la respuesta se denomina de adición y sustitución, en la cual hay una mayor provisión de nutrientes, mejor desempeño animal, y la posibilidad de

incrementar la carga animal, respecto a la situación sin suplementación. Esta es la respuesta más frecuente, observada en una diversidad de condiciones en las que hay alguna restricción por parte de las pasturas, que es compensada por el suplemento. En la respuesta de adición con estímulo el concentrado causa un aumento de la ingestión de pastura y el desempeño individual respecto a la situación sin suplementar, mientras que en el caso de la respuesta de sustitución con depresión ocurre lo opuesto. En esta revisión se utilizarán los conceptos definidos por este autor (Viglizzo, 1981) para describir las respuestas productivas a la suplementación.

En una revisión de estudios que fueron realizados con vacas lecheras de alta producción en sistemas pastoriles con suplementación, detectaron que el consumo de MS de pasturas decae con el aumento en el nivel de suplementación, existiendo una relación negativa entre estas variables; esto se explicaría por una reducción en el tiempo de pastoreo sin que se vean afectados los componentes de la tasa de consumo, como la tasa de bocado y el peso de bocado. A pesar de que la suplementación reduce el consumo de MS de pasturas en un 13% respecto a animales no suplementados (o 0,39 kg de pasto por cada kg de concentrado), el consumo de MS total aumentó significativamente (24%, o 0,52 kg total por cada kg de concentrado) respecto a los no suplementados, lo que llevo a una relación positiva entre el consumo de MS de concentrado y el total (Bargo et al., 2003), reafirmando que la respuesta mayormente encontrada es la de adición y sustitución.

2.2.2 Efectos sobre el ambiente ruminal

Se caracteriza al ambiente ruminal de animales que consumen solo pasturas templadas de buena calidad por tener un pH medio de entre 6,0 a 6,8, concentraciones de ácidos grasos volátiles totales (**AGVt**) de 100 a 200 mmol/L, una relación acético/propiónico (**C2/C3**) de entre 3,5 a 4,0, y una concentración de nitrógeno amoniacal (**N-NH₃**) que fluctúa entre 20 a 30 mg/dL (Bargo et al., 2003). El pastoreo durante períodos restringidos del día podría generar cambios a nivel del ambiente ruminal (Pérez-Ruchel, 2010; Félix, 2013), que se verían acentuados con la inclusión de concentrados energéticos, que generalmente presentan alta digestibilidad ruminal. Ello puede resultar en cambios muy marcados en las concentraciones de algunas variables de ambiente ruminal (Bargo y Muller, 2005; Cajarville et al. 2006).

Existe cierta inconsistencia en los valores de pH ruminal de vacas consumiendo concentrados y pasturas templadas de alta calidad. Por un lado, se reporta que los concentrados energéticos podrían producir caídas importantes en el pH ruminal entre la hora 1 y la 4 pos-prandial (Reis y Combs, 2000b; Cajarville et al., 2006; Tebot et al., 2012; Aguerre et al., 2013), mientras que en otros trabajos no se han detectados cambios en el pH ruminal de vacas con pasturas y concentrados similares (García et al., 2000), y Bargo et al. (2003) reportaron que no existe una relación directa entre el pH ruminal y la cantidad de concentrado. Para los trabajos donde se ha descrito una reducción del pH ruminal, la misma se asoció con concentraciones más altas de AGV total en algunos casos, y con una

menor concentración de sustancias buffer de la saliva debido a reducción en la rumia (Bargo et al., 2003). Junto a este incremento en las concentraciones de AGVt se producen cambios en el perfil de AGV, donde decae la concentración relativa de acetato y butirato se incrementa la de propionato (Bargo et al., 2003; Bramley et al., 2008). Pero otros trabajos que sí observaron caídas en el pH ruminal no detectaron cambios en las concentraciones de AGVt (Sairanen et al., 2005); de hecho, Kolver y deVeth (2002) informaron una relación levemente negativa entre el pH ruminal y la concentración de AGVt (valor de R^2 de solo 0,30).

Los cambios en el pH ruminal, entre otros factores, han sido sugeridos para definir a la acidosis ruminal, enfermedad caracterizada por una disminución en los álcalis (bases) en los fluidos corporales, y un aumento de los ácidos (iones de hidrógeno) (Plaizier et al., 2006; Dehkordi y Dehkordi, 2011), y que se puede clasificar en una forma clínica o sub clínica (RAGFAR, 2007). La acidosis sub clínica o sub aguda se identifica con períodos de depresión del pH del rumen por debajo del rango fisiológico, debido a la acumulación de AGV en vacas lecheras de alta producción (Krause y Otzel, 2006; Kleen et al., 2013), y es considerada la enfermedad nutricional más importante que afecta al ganado lechero, pudiendo tener importantes consecuencias económicas asociadas a las pérdidas productivas y problemas de salud que genera en el animal (Enemark, 2008). Entre ellas se encuentran: reducción en el contenido de grasa láctea, en la eficiencia de conversión alimenticia, en la ingesta de alimentos, disminución de la digestibilidad de la fibra, laminitis, abscesos hepáticos, diarreas y desplazamiento de abomaso (RAGFAR, 2007). A pesar, que la definición o el diagnostico de acidosis sub clinica es controvertida, algunos autores propusieron que los umbrales para que un pH anormal sea indicativo de la ocurrencia de acidosis sub aguda deben ser de 5,5 (Garret et al., 1999), 5,8 (Duffield et al., 2004) y 5,9 (Plaizier, 2004) cuando las muestras de líquido ruminal son recolectadas por rumenocentesis, cánula ruminal del saco ventral, y utilizando una sonda oral, respectivamente, y estas se deben mantener durante un período prolongado (Li et al., 2013).

Por otra parte, los elevados niveles de suplementación pueden producir efectos asociativos negativos entre los alimentos, generando una menor digestibilidad ruminal y total de la fibra (Tebot et al., 2012; Farenzena et al., 2014). Esta menor digestibilidad de la fibra podría deberse a una menor adherencia bacteriana (Farenzena et al., 2014), o a un menor número y actividad de la microbiota celulolítica (Mould et al., 1983), asociada al bajo pH ruminal o al tipo de sustrato fermentado (Calsamiglia et al., 2008).

Otra de las variables que se ve afectada por la suplementación es la concentración ruminal de $N-NH_3$. Uno de los efectos más consistentes que ha sido reportado es su disminución al suplementar con concentrados energéticos (Bargo et al., 2003). Esto ha sido asociado con una mayor captura de $N-NH_3$ proveniente de la PC de las pasturas que generalmente es altamente degradable en el rumen, o a una reducción en la ingesta total de PC asociada a

que los suplementos energéticos suelen tener menores concentraciones de PC que las pasturas (Bargo et al., 2003).

2.2.3 Efectos sobre el desempeño productivo

La inclusión de concentrados energéticos usualmente genera un aumento en la producción de leche, lo que se debe a que, como generalmente presentan un elevado contenido de almidón, generan precursores de la neoglucogénesis hepática como propionato a nivel ruminal (Bargo et al., 2003). A su vez, esto resulta en una mayor disponibilidad de glucosa, lo que aumenta la producción de lactosa en el alvéolo mamario, y debido a que este es el principal componente osmótico de la leche, produciría un mayor volumen de ésta (Costa et al., 2019). Además, el almidón que no se digiere a nivel ruminal puede ser absorbido directamente a nivel intestinal, la cual contribuiría al pool de glucosa que es captada por la glándula mamaria para la síntesis de lactosa (Rigout et al., 2003)

También la composición química de la leche es modificada al utilizar suplementos, donde en general, ocurre una reducción en el porcentaje de grasa de la leche a mayor cantidad de concentrado consumido (Reis y Combs, 2000a, b; Walker et al., 2001). Según Bargo et al. (2003), analizando 11 experimentos, ocurre una reducción del 6% en el porcentaje de grasa láctea de vacas a pastoreo suplementadas con concentrados energéticos en comparación a vacas solo a pastoreo, que en parte atribuyen a la reducción en el contenido de fibra de la dieta. Sin embargo, Bargo et al. (2003) describen que el rendimiento de grasa aumenta con el uso de concentrados energéticos en un 13% en comparación a vacas únicamente en pastoreo. Por otra parte, el porcentaje de proteína láctea presenta un incremento lineal frente a una amplia gama de tipos y cantidades de concentrados, observando un aumento promedio en el porcentaje de proteína en los animales suplementados de 13% en comparación con los tratamientos solo a pastoreo (Bargo et al., 2003). Con el uso de suplementos también se podría esperar aumentos en el rendimiento de lactosa, dependiendo del tipo de suplementos utilizados (Higgs et al., 2013). Teniendo en cuenta que el manejo nutricional permitiría modificar parcialmente la composición química de la leche, es interesante considerar cómo es el sistema de pago de la leche a productores en cada país; por ejemplo, en zonas donde la leche producida se destina principalmente a la producción de quesos, el valor de la proteína puede ser más de dos veces superior al de la grasa (Rius et al., 2010; Mordeti et al., 2016).

El precio de los suplementos y de la leche juegan un papel relevante en el sistema productivo, afectando directamente el margen de alimentación y los costos variables (Baudracco et al., 2010; Ramsbottom et al., 2015), siendo la respuesta productiva a la suplementación (**RS**) un factor fundamental en definir los resultados de indicadores económicos del predio. La RS se define como el incremento en la producción de leche por kg MS de concentrado ofrecido o consumido (Bargo et al., 2003). A su vez, se puede diferenciar la RS en: a) RS general, que es el aumento en kg de leche por kg de suplemento

consumido calculado en relación con un tratamiento sin suplementar, y b) RS marginal, que es el aumento en kg de leche por kg de aumento incremental en el suplemento consumido, y que se calcula para diferentes cantidades de suplemento (Bargo et al., 2003).

Diversos estudios han demostrado que la suplementación no siempre produce la respuesta productiva esperada (Bowman y Sanson, 1996; Moore et al., 1999). Según Roche et al. (2017), en teoría, por cada kg de concentrado se deberían obtener 2 kg de leche por su valor energético, pero en la práctica la RS es mucho menor. Esta diferencia es debida a varias causas: a) la reducción en el consumo de pasto asociada al consumo de concentrado, también conocida como tasa de sustitución, y sobre la cual se referirá a continuación (Stockdale, 2000b; Bargo et al., 2003), b) al direccionamiento de parte de energía consumida a las reservas corporales en vez de a producir leche (Roche et al., 2006), c) que parte del suplemento se pierde en el proceso de alimentación como desperdicio, y d) que la digestibilidad de la pastura suele ser afectada negativamente por el consumo de almidón (Leddin et al., 2010). Esta diferencia entre la respuesta esperada y la alcanzada es, a su vez, afectada por muchos factores que interaccionan entre sí, asociadas a las características de los animales y alimentos (Stockdale, 2000a,b).

Uno de los principales factores que explican la variación observada en la RS es la tasa de sustitución, que se define como la disminución del consumo de pasto por cada kg de suplemento (Stockdale, 2000a; Kellaway y Harrington, 2004). La misma se puede estimar a partir de la siguiente fórmula: $\text{tasa de sustitución (kg/kg)} = (A-B)/C$, donde A identifica al consumo de MS de pastura del grupo sin suplementar, B es el consumo de MS de pastura del grupo suplementado, y C son los kg de suplemento consumido por los animales. Cuando la tasa de sustitución es menor que 1 el consumo de MS total del grupo suplementado es mayor al del grupo sin suplementar, lo que sería un efecto asociativo positivo entre los alimentos (Dixon y Stockdale, 1999). Si la tasa de sustitución es igual a 1, no hay diferencias en consumo total, indicando una respuesta de sustitución, pero cuando es mayor que 1, el consumo de MS total sería menor para el grupo suplementado respecto del sin suplementar, lo que posiblemente se explicaría por efectos asociativos negativos entre los alimentos a nivel del crecimiento microbiano y la digestibilidad de la fibra, representando la respuesta de sustitución con depresión (Dixon y Stockdale, 1999). Generalmente, la tasa de sustitución se encuentra entre 0,5 a 0,8, es decir que, por cada kg de MS de suplemento ofrecido, el consumo de pasto de la vaca disminuye entre 0,5 a 0,8 kg de MS (Viglizzo, 1981). En general existe una relación negativa entre la tasa de sustitución y RS (Bargo et al. 2003); es decir, a mayor tasa de sustitución, menor será la respuesta productiva esperable a partir de cada kg de suplemento suministrado. La disminución en el consumo de pasto debido a un mayor consumo de suplementos por vacas, probablemente, la razón principal de la limitación de la respuesta productiva y de la falta de capitalización de los beneficios potenciales de la suplementación (Ramsbottom et al., 2015).

Dado que tasa de sustitución y RS están estrechamente relacionadas como fuera mencionado, los factores que afectan a estas dos variables se analizan conjuntamente. Los factores más importantes relacionados con las pasturas son la asignación de pastura, la altura de la pastura, las especies presentes en la pastura, y la calidad de la misma. Los factores más importantes relacionados con los suplementos son la cantidad y el tipo de suplemento, y los factores más importantes relacionados con los animales son el mérito genético de las vacas, el nivel de producción y la etapa de lactancia. Todos estos factores se detallarán a continuación.

2.2.3.1 Factores relacionados con los alimentos

Existen características de los alimentos que generan cambios en la respuesta a la suplementación, donde el nivel de alimentación de la dieta base (pasturas) se encuentra entre los más importantes. Según Penno et al. (2001), el déficit energético relativo (**DER**) de alimento es el factor más influyente en la respuesta a la suplementación, lo que se explica debido a que la energía es el factor limitante en los sistemas lecheros pastoriles (Baudracco et al., 2010). Se define al DER como la cantidad de energía consumida por una vaca en relación con su demanda, y ésta aumenta debido a una alta demanda energética de la vaca, o a un déficit de energía dietética para satisfacer a esta demanda (Baudracco et al., 2010). Es decir, la magnitud de la RS depende principalmente de la necesidad de alimento adicional por parte de la vaca, y se lograrán altas respuestas si la producción actual de las vacas está siendo severamente limitada por la falta de alimento (Holmes y Mathews, 2001).

Algunos autores (Robaina et al., 1998) sugirieron que la disponibilidad y la calidad de la pastura afectan de forma marcada la RS en los sistemas pastoriles, en asociación con el DER. Varios estudios previos han informado que la RS es menor cuando la asignación de pastura es alta (Baudracco et al., 2010). Grainger y Mathews (1989) ofreciendo asignación de pastura por vacas de 8, 17 y 33 kg/MS de pastura observaron que la RS fue de 0,97, 0,69 y 0,28 kg leche/kg MS de concentrado ingerida, respectivamente. Robaina et al. (1998) utilizando vacas de lactancia media durante el verano, ofrecieron dos niveles de asignación de pastura de 20 y 40 kg/MS/vaca/día, vieron que la RS fueron de 1,1 y 0,8 kg de leche por kg de concentrado ingerido, respectivamente, explicado principalmente por una mayor tasa de sustitución en alta asignación de pastura. Delaby y Peyraud (1999) y Bargo et al. (2002) estimaron que la RS es lineal hasta alcanzar una meseta cuando se manejaron altas disponibilidades de pasturas y un consumo de concentrado de 4 kg MS, mientras que cuando se restringió el forraje hubo una respuesta lineal hasta 6 kg MS de concentrado. Además, las características físicas o químicas de las pasturas pueden limitar la ingesta de alimento de las vacas, afectando el DER, y por lo tanto, la magnitud de la RS (Penno et al., 2006). Por ejemplo, en épocas del año como el verano y principio de otoño se registran reducciones en la calidad de las pasturas y restricciones en la ingesta de nutrientes, generando un mayor DER y una mayor RS respecto de la primavera (Stockdale, 2000b).

Existen factores como la cantidad de concentrados que también influyen sobre la RS (Stockdale, 2000b). Kellaway y Harrington (2004) plantearon que la RS marginal cuando se ofrecen cantidades crecientes de concentrado es curvilínea; es decir, el aumento marginal de leche por kg de concentrado disminuye a medida que aumenta la cantidad de concentrado. Algunos trabajos experimentales sugieren que 4,5 kg MS de concentrado por animal por día sería la cantidad máxima de concentrado antes de que la respuesta de la leche disminuya (Robaina et al. 1998; Kellaway y Harrington 2004), y que por cada kg de MS ingerido adicionalmente la tasa de sustitución aumenta en 0,03 kg de MS de pasto/kg de MS de concentrado (Stockdale 2000b). Sin embargo, el punto de quiebre en el tipo de respuesta (curvilínea o lineal) depende del mérito genético de las vacas, donde experimentos revisados por Bargo et al. (2003) que utilizaron vacas de alto mérito genético; la RS fue lineal con cantidades creciente de concentrado, de 2 hasta 10 kg de MS/vaca por día. Sin embargo, la suplementación de vacas lecheras en niveles superiores a 6 kg MS/vaca por día puede tener efectos perjudiciales para la digestión ruminal (Robaina et al. 1998), predisponiendo a causar acidosis sub aguada. Por otra parte, también se conoce que los tipos de concentrados (Stockdale 2000b) y sus procesos químicos o mecánicos (Theurer et al., 1999) generan diferentes RS, donde por ejemplo los forrajes conservados (ensilajes de maíz o heno) tienden a producir una menor RS y causar una mayor tasa de sustitución que los concentrados energéticos, asociado a una mayor reducción en el tiempo de pastoreo (Stockdale, 2000b).

2.2.3.2 Factores relacionados con los animales

Existen diversos factores de los animales que afecta la RS. El potencial genético de las vacas es uno de los más importantes, ya que trabajos publicados indican que las RS se han duplicado entre la década de 1960 y el año 2017, pasando de aproximadamente 0,5 a 1,1 kg de leche/kg de MS de concentrado (Roche et al., 2017). Esto se debe a que las prioridades de la selección genética de las vacas lecheras fueron en base a la producción de leche, principalmente para la Holstein Friesian (**HF**) de línea genética Norteamericana (**NA**). Esta selección genética ha reducido la tasa de sustitución y aumentando la RS, a través de una mayor partición de la energía consumida hacia la producción de leche a expensas de CC (Dillon, 2006), que desde un punto de vista fisiológico se base en una alteración del acoplamiento del eje somatotrópico (Lucy et al., 2009).

Estudios realizados en diferentes países como Nueva Zelanda (Kolver et al., 2005; Macdonald et al., 2008), Irlanda (Kennedy et al., 2003; Horan et al. 2005a, b) y Australia (Fulkerson et al., 2008) evaluaron la RS de vacas lecheras HF a pastoreo con diferentes potenciales de producción de leche o diferentes líneas genéticas [NA vs línea genética de Nueva Zelanda (**NZ**)]. Estos estudios reportaron, en términos generales, que las vacas con mayor proporción de genética NA (59%) tuvieron mayores RS, promediando 1,03 kg de leche por kg de MS de suplemento, pero perdieron más CC durante la lactancia que vacas con baja proporción de genética NA (24%), las que tuvieron una RS de 0,63 kg de leche

por kg MS de suplemento (Baudracco et al., 2010). La mayor pérdida de CC en vacas NA o con un alto mérito genético no sería compensada incluso cuando estas vacas son suplementadas con energía extra durante la lactancia (Roche et al., 2006), requiriendo suplementación adicional al secado (Holmes y Roche, 2007). Por lo tanto, según Horan et al. (2005a,b), para predecir la RS se debe tener en cuenta tanto el sistema de alimentación como el genotipo animal.

Otro factor que podría afectar la magnitud de la respuesta marginal al uso de concentrado es la etapa de la lactancia, porque a medida que avanza la misma la energía consumida se orienta más hacia reponer reservas corporales que hacia la síntesis de leche (Broster y Broster, 1984; Stockdale et al., 1998; Kellaway y Harrington, 2004). La RS promedio de vacas en pastoreo suplementadas con 3 kg de MS/día de concentrado fue decayendo de 0,7 a 0 kg de leche por kg de MS cuando avanzaban desde 86 a 243 días en leche, respectivamente (O'Brien et al., 1999). En el mismo sentido, resumiendo cinco experimentos con consumos de concentrado de 0 a 7 kg/día, la RS marginal fue de 1,3, 1,1 y 0,7 kg de leche por kg de MS de concentrado en la lactancia temprana, media y tardía, respectivamente (Stockdale et al., 1987).

Sin embargo, algunos autores (Grainger, 1990; Penno, 2002; Penno et al., 2006) no encontraron ningún efecto de la etapa de la lactancia en la RS y tasa de sustitución. Se ha propuesto que las eventuales diferencias en RS a lo largo de la lactancia son debidas a diferencias en la calidad de las pasturas, y no por la etapa de lactancia *per se*, generándose un efecto confundido entre estas variables (Grainger, 1990; Stakelum et al., 2007). Por lo tanto, el DER determina las respuestas a los suplementos que según algunos autores son independiente de la etapa de lactancia en sistemas lecheros pastoriles (Holmes y Roche, 2007); si la producción se mantiene relativamente en altos niveles a partir de la lactancia temprana, es posible continuar logrando altas RS en lactancia media y tardía.

La paridad también puede influir en la tasa de sustitución y la RS a través de su influencia en la ingesta potencial de MS y el DER. Las vacas primíparas presentan un balance energético negativo más severo durante el inicio de la lactancia y un mayor desbalance endócrino-metabólico (Meikle et al., 2004). Esto podría estar explicado por su incapacidad para cubrir sus requerimientos de energía en pastoreo, debido a una mayor demanda de requerimientos nutricionales destinados al crecimiento, menor capacidad de consumo de pasto (por un menor tiempo destinado y menor intensidad de pastoreo), así como efectos de la dominancia social sobre el comportamiento ingestivo de los animales (Ungerfeld et al., 2014), determinando en última instancia la severidad tanto del balance energético negativo como del DER. También la deposición de grasa corporal influye sobre la RS y se ha probado que la deposición de un punto de CC en vacas lecheras reduciría la RS en 0,34 kg de leche/kg MS de concentrado ingerido (Stockdale, 2000b).

2.2.4 Efectos sobre la condición corporal

Se ha identificado la importancia de la CC al parto y durante el período reproductivo sobre la producción, reproducción, salud y bienestar de vacas lecheras a pastoreo, donde vacas con una CC al parto de 3 a 3,25, y con una pérdida de CC luego de parto de no más de 0,5 unidades, aseguraran una alta productividad y adecuada salud de las vacas, siempre y cuando las estrategias de alimentación sean correctas (Roche et al., 2009). La CC de los animales está regulada por señales que estimulan la lipólisis o la lipogénesis, y esta regulación endócrina del metabolismo del tejido adiposo puede ser manipulada en parte por la nutrición, en conjunto con la etapa de lactancia y la genética de la vaca (Roche et al., 2009).

La suplementación de vacas lecheras a pastoreo permitiría hacer un re-acoplamiento más temprano del eje somatotrópico, lo que conduciría a un aumento de la concentración de insulina e IGF-1 (Grala et al., 2011), y una reducción de la resistencia a la insulina (Roche et al., 2007), lo que en conjunto orientaría el metabolismo lipídico hacia el anabolismo y hacia un balance energético positivo. Algunos trabajos que estudiaron los efectos de la suplementación durante la lactancia temprana de vacas a pastoreo observaron que, si bien la misma redujo los días desde el parto hasta el nadir de CC y se aumentó levemente la CC al nadir, no hubo efecto sobre la tasa de pérdida de CC (Roche et al., 2006). Esto concuerda con McNamara y Hillers (1986), quienes identificaron que la lipólisis es regulada por la genética principalmente, mientras que la lipogénesis es influida en mayor medida por la nutrición.

2.3 Estrategias de asignación del concentrado

Los concentrados pueden ser ofrecidos a las vacas en pastoreo en una amplia variedad de formas, tanto dentro como fuera de la sala de ordeño, pero en los sistemas pastoriles la suplementación con concentrados se hace principalmente dentro de la sala de ordeño (Dela Rue y Eastwood, 2017; Fariña y Chilbroste, 2019). El método o estrategia de asignación del concentrado debe permitir utilizar de la forma más eficiente posible un alimento costoso, siendo esto un desafío para los productores de leche (Hills et al., 2015). En la actualidad, las estrategias de asignación del concentrado en los sistemas lecheros pastoriles se definen en base a factores vinculados a la cantidad de lotes de producción, el tamaño del rodeo, la disponibilidad de instalaciones, la disponibilidad de equipos para preparación y entrega de alimentos o mano de obra, más que a factores vinculados con el manejo nutricional de los animales.

2.3.1 Suplementación grupal de concentrados

Frecuentemente, la suplementación del ganado lechero con concentrados se realiza teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales del rodeo en un su conjunto, en lugar de los requerimientos individuales por vaca (Hills et al., 2015). Esta primera estrategia de suplementación está muy difundida por su simplicidad en el manejo, ya que requiere únicamente de información del promedio del lote de producción (Aguerre y Chilbroste,

2018; Dela Rue y Eastwood 2017). Por definición, cuando los concentrados se ofrecen de esta forma la estrategia es denominada suplementación grupal (**GRU**), en la cual todas las vacas de un grupo reciben la misma cantidad de concentrado, buscando cubrir el requerimiento de nutrientes promedio del grupo, o a un percentil superior de los animales (Pulido y Leaver, 2001; Roche et al., 2013; Hills et al., 2015). A los efectos de esta tesis, esta estrategia de suplementación se puede clasificar, según si las cantidades ofrecidas varían o no a lo largo de la lactancia o durante el período de suplementación, en suplementación GRU variable o GRU fija, respectivamente (Leaver, 1988).

Teniendo en cuenta que se ha observado que existe una gran variación entre animales en la RS con concentrados (André et al., 2010b), lo cual es debido en parte a factores de los propios animales y a factores vinculados a los alimentos, es poco probable que la RS con concentrados permanezca constante durante todo el período de suplementación, en la medida que muchos de estos factores también varían a lo largo del tiempo (Baudracco et al., 2010). Esta variación en la RS es mayor cuando el manejo nutricional es en lotes únicos, que agrupan animales con requerimientos muy diversos, lo que podría potencialmente subalimentar a las vacas de mayor potencial productivo, o sobrealimentar a las de menor potencial (Hills et al., 2015). En consecuencia, las vacas de alto potencial productivo se verían más perjudicadas, sobre todo cuando se manejan en sistemas pastoriles, donde las recomendaciones de pastoreo sugieren restringir la cantidad de pastura ofrecida por animal para lograr una adecuada utilización de esta (Peyraud y Delagarde, 2013). Estas vacas subalimentadas movilizarían sus reservas corporales para cubrir el déficit entre la oferta de nutrientes y su demanda, que, dependiendo de la magnitud, podría comprometer su producción, salud y fertilidad (Hills et al., 2015; Mayne y Gordon, 1984). Por otra parte, las vacas sobrealimentadas particionarían una mayor proporción de la energía consumida hacia el mantenimiento o la recuperación de reservas corporales en vez de hacia una mayor producción de leche (Ferris et al., 1999), reduciendo la RS del alimento más caro, y afectando negativamente la rentabilidad del sistema (Horan et al., 2005 b).

2.3.2 Suplementación individualizada de concentrados

La necesidad de aumentar la eficiencia del uso de concentrados ha llevado al desarrollo de enfoques más dinámicos para la suplementación, siendo parte de lo que se ha dado en llamar “lechería de precisión” (Wathes et al., 2008). Un ejemplo de estos sistemas alternativos de suplementación con concentrados, más complejo que GRU, son los denominados sistemas de suplementación individualizada (**IND**), que se basan en ofrecer diferentes cantidades de concentrado a cada vaca dentro de un mismo lote en base a requerimientos nutricionales individuales, determinados a partir de variables productivas o fisiológicas medidas a nivel de vaca (Leaver, 1988; Hills et al., 2015). El concepto que apoya a esta estrategia de suplementación se basa en la relación curvilínea y positiva que existe entre la producción de leche y la asignación de concentrado (Kellaway y Harrington, 2004), que está influenciada por el mérito genético de la vaca (Ferris et al., 1999) la

calidad de la dieta base ofrecida (Taylor y Leaver, 1984), así como a la existencia de una importante variación entre vacas lecheras en la RS con concentrados (André et al., 2010b).

Del mismo modo que en GRU, las estrategias IND se puede clasificar según si se hacen ajustes en la asignación de concentrados a lo largo de la lactancia o durante el período de suplementación en: suplementación IND variable, donde las cantidades a ofrecer a cada animal pueden variar a lo largo del período, o suplementación IND fija, donde la cantidad que se ofrece a cada animal es fija para todo el período. En una encuesta que tenía el objetivo de comprender que motivaba a productores lecheros de Nueva Zelanda a instalar alimentadores individualizados, evaluar como los usaban y que desafíos enfrentaban (Dela Rue e Eastwood, 2017), se identificó que éstos principalmente suplementaban a sus vacas en sub-grupos distintos según el rendimiento productivo de cada sub-grupo y/o etapa de lactancia, debido a la falta de conocimiento de productores y asesores sobre propuestas o reglas de decisiones para la utilización eficiente de equipos y concentrados con una estrategia IND de suplementación. A los efectos de esta tesis, a este método IND, donde a partir de los requerimientos individuales se asignan a las vacas a sub-grupos de rendimiento productivo similar, Hills et al. (2015) lo denominaron suplementación semi-individualizada (**semi-IND**). Para esta clasificación también se podría diferenciar según si la asignación de concentrado es variable o fija a lo largo del tiempo, de modo similar a lo ya descrito. Otro nivel de complejidad es introducido cuando se incluyen algunos nutrientes o tipos de alimentos diferentes para cada animal, con el mismo objetivo de complementar la dieta base para optimizar la producción, salud o fertilidad, que se denomina suplementación individualizada con adición de nutrientes específicos (Hills et al., 2015).

Actualmente, la posibilidad de implementar esquemas de suplementación IND en un tambo se ve facilitada debido al desarrollo de equipos de ordeño con sistemas de registro automático de la producción diaria de leche, y sistemas de alimentación de concentrados (software en la sala de ordeño) que permiten ofrecer el concentrado a cada vaca individual en función de su producción (Hills et al., 2015). Estos equipos permiten suplementar individualmente a las vacas, tanto dentro como fuera de la sala de ordeño, e incluso diferenciar cantidad y tipos de alimentos en la sala. Por ejemplo en Nueva Zelanda, Dela Rue e Eastwood, (2017) describen que un cuarto de los tambos pastoriles de este país con alimentación en la sala de ordeño tienen capacidad para suplementar individualmente a las vacas.

Según Dela Rue e Eastwood (2017) aún no existen estrategias claras en la toma de decisiones para el uso de la suplementación IND, pero en la actualidad el uso de parámetros como producción de leche y/o peso vivo (**PV**) son los mayormente utilizados por los productores (Hills et al., 2015). A pesar de que el pago de la leche se realiza frecuentemente en base a los rendimientos de los componentes lácteos, muchas veces estos no son tenidos en cuenta en las estrategias de suplementación, siendo escasos los trabajos que evalúan estrategia de asignación IND, tanto en sistemas pastoriles como de

estabulación, y que tengan en cuenta los componentes lácteos de cada vaca individual como bases para la determinación de los niveles de suplementación (Hills et al., 2015). La utilización de la producción de leche previa o esperada y la composición química de la leche se caracterizan por tener en cuenta la respuesta de la leche a corto plazo. Sin embargo, un método óptimo de suplementación IND debería tener en cuenta no solo la respuesta inmediata, sino también considerar otros criterios de más largo plazo, como la recuperación de reservas corporales en el mediano plazo, o el crecimiento de vacas primíparas, para lograr un mejor ajuste del aporte de nutrientes según las necesidades individuales. Además, la inclusión de algún criterio relacionado con el mérito genético de cada vaca individual podría ser útil, al menos en teoría, para mejorar la RS (Fulkerson et al., 2008).

Hills et al. (2015) destacan algunos beneficios teóricos de la suplementación IND con concentrado sobre la producción de leche marginal, la optimización en el uso del concentrado, la salud y la reproducción de vacas lecheras a pastoreo. Estos autores describen que uno de los principios fundamentales para obtener beneficios o ventajas de la IND respecto a GRU es la existencia de suficiente variabilidad entre animales, lo que permitiría diferenciar la suplementación para obtener una respuesta productiva más rentable, explotando justamente dicha variabilidad animal. Sobre este concepto, André et al. (2010a,b), en un estudio observacional de 4 tambos de los Países Bajos (3 de ordeño automatizado y 1 convencional), recolectaron datos de vacas de lactancia temprana (alimentadas a base de ensilaje de maíz y pasturas, y concentrado ofrecido en la sala de ordeño), e informaron la existencia de una considerable variación entre vacas en la producción de leche en respuesta al consumo de concentrado. Estos autores concluyeron con su modelación que, aprovechando la variabilidad y aplicando una suplementación IND, en base a la producción de leche obtenida, se lograría mejorar la rentabilidad económica, con ganancias económicas que oscilarían entre 0,20 € a 2,03 € por vaca por día. En otro trabajo de simulación, Pecsok et al. (1992) buscaron estimar los beneficios de producción cuando se cambia de alimentación GRU a IND. En base a ecuaciones de predicción de la producción de leche a partir del consumo de MS y de la producción previa, simularon la RS de vacas alimentadas con ensilaje de maíz, heno y concentrados comerciales durante una lactancia, e informaron un aumento de 0,8 kg leche corregida al 4% de grasa (**LCG**) por vaca/día (rango de 0,5 a 1,1 kg/vaca/día) cuando el manejo de la suplementación se cambió de GRU a IND.

Otro de los beneficios teóricos de la suplementación IND sería la posibilidad de lograr una mejor gestión de la CC de las vacas (Hills et al., 2015). Se sabe que la pérdida de CC luego del parto es una adaptación natural para la producción intensiva de leche, pero que, si es excesiva, puede ir en detrimento de la salud y la reproducción, y esto puede ser aún más marcado en vacas de alta producción (Roche et al., 2009). Teniendo en cuenta que la suplementación de vacas lecheras en lactancia temprana presenta leves efectos sobre la CC, y que las vacas de alta producción requieren un mayor nivel de concentrado para orientar el metabolismo lípido hacia el anabolismo (Reist et al., 2003), la suplementación

IND con concentrados en función de la ganancia de CC, diferenciando a las vacas en base al potencial genético y su etapa de lactancia, permitiría mejorar la CC, y, por lo tanto, la reproducción, la salud, así como aumentar la producción de leche (Hills et al., 2015). Además, teniendo en cuenta la mayor eficiencia de deposición de reservas corporales cuando las vacas se encuentran en lactancia (Yan et al., 1997), se podría suplementar a vacas de lactancia tardía, para que con ese aporte extra de energía puedan depositar eficientemente reservas corporales y alcanzar el siguiente parto con la CC óptima, lo que podría contribuir para mejorar la salud y la reproducción de los animales (de Vries et al., 1999).

Los avances en la selección genética de vacas han causado una mayor priorización de nutrientes y energía hacia la producción de leche (Fulkerson et al., 2001; Kennedy et al., 2003; Burke et al., 2010), lo que se ha asociado con una disminución en el desempeño reproductivo (Lucy, 2001). Es poco probable que el manejo nutricional de la suplementación durante los días 1 al 30 de la lactancia temprana afecte a los indicadores reproductivos, ya que la nutrición durante el período de mayor balance energético negativo ha tenido pequeños efectos sobre la lipólisis, la cual es dirigida homeoréticamente (Roche et al., 2009). A pesar de esto, la suplementación IND podría hacer un aporte, al menos en teoría, a la mejora de los indicadores reproductivos en los sistemas lecheros pastoriles. La posibilidad de suplementar las vacas del rodeo con una diferenciación individual según sus días de lactación tal vez podría mejorar la tasa de concepción, a través de aliviar el balance energético negativo, o a través de alterar la composición de la dieta para apoyar los procesos reproductivos. (Hills et al., 2015). Sin embargo, se requiere de más investigación para lograr entender las relaciones entre la composición química de los alimentos, y sus respuestas metabólicas y reproductivas cuando se utilizan estrategias IND para la suplementación.

Hills et al. (2015) han identificado el potencial que presenta la suplementación IND sobre la salud de vacas lecheras a pastoreo. Se conoce que el suministro de grandes cantidades de concentrados, junto a pasturas de alta calidad, genera una reducción en el pH ruminal indicando riesgo de acidosis (Auldist et al., 2014). La estrategia de asignación del concentrado IND a base de granos sería de riesgo cuando se suplementan a vacas de alto rendimiento productivo sin monitorear otras variables de la dieta o de los animales. Pero, a la misma vez, el manejo correcto en cantidad y calidad de la dieta permitiría mitigar riesgos de disfunciones del ambiente ruminal como los mencionados. Además, se podría ofrecer nutrientes específicos individualmente bajo una estrategia IND para mitigar riesgos de acidosis, utilizando aditivos como sustancias buffer, alcalinizantes, o moduladores de la fermentación (RAGFAR, 2007).

Otro de los beneficios adicionales teóricos de la suplementación IND se relacionaría con el bienestar de animales cursando estrés por calor, ya que permitiría disponer de medidas específicas para mitigar el estrés por calor, sobre todo en vacas lecheras de alta producción (Hills et al., 2015). Estos autores describen que a partir de la identificación de aquellos

animales que tienen mayor riesgo de estrés por calor, se podrían reducir el calor de fermentación ruminal al aumentar el nivel energético de la dieta con el uso de grasas, o utilizar granos con menor digestión ruminal, o incluir aditivos probados su efecto de ayuda en la mitigación del estrés por calor, como el cromo o el bicarbonato de sodio. Además, la suplementación IND permitiría también un manejo de la alimentación en grupos más flexible, pudiendo realizar cambios en la cantidad de concentrado sin mover animales a otros grupos. De esta forma se evitarían los efectos negativos que ocasionan cambios bruscos en la dieta, o en la jerarquía social sobre la salud y el bienestar de las vacas (Maltz et al., 1992).

2.3.3 Comparación entre la suplementación GRU e IND

Durante las décadas del 1970 al 1980 se realizaron numerosos trabajos que buscaron comparar estrategias de asignación del concentrado, en algunos casos probando ofrecer diferentes cantidades de concentrados según la etapa de lactancia en comparación con proporcionar la misma cantidad cada día de lactancia. Por ejemplo, Rakes y Davenport (1971) compararon la respuesta de vacas suplementadas con igual cantidad de concentrado a lo largo del experimento (clasificada como GRU fija), con vacas alimentadas con mayores cantidades al inicio de la lactancia y cantidades menores en la lactancia media y tardía (identificada como suplementación escalonada por los autores, o semi-IND variable según la etapa de lactancia, según el criterio definido antes en esta revisión). Los autores no observaron diferencias significativas en la producción de leche anual, medida durante 3 lactancias consecutivas (6.400 kg de leche y 3250 kg de concentrado por vaca y por lactancia).

Posteriormente, Gordon (1982) utilizó 72 vacas multíparas en un estudio de dos años, donde ofreció ensilaje de pastura ofrecido *ad libitum* y dos estrategias de asignación del concentrado. En la estrategia GRU fija, se asignaron 7,6 kg/día de concentrado a cada animal del lote, sin cambios en la cantidad ofrecida durante el experimento. En la estrategia IND variable, se ajustó semanalmente la asignación teniendo en cuenta los rendimientos productivos en la semana previa; se asumió que la producción a partir de la dieta base de ensilaje fue de 16,9 litros, y la asignación del concentrado se determinó a partir de la producción de leche extra a la de la dieta base, asignando 0,45 kg de concentrado/litro extra. Estos autores observaron que la estrategia de asignación del concentrado no afectó el rendimiento productivo de la lactancia (5673 kg de leche en promedio), ni tampoco la producción de grasa y proteína.

Taylor y Leaver (1984) realizaron un experimento de 25 semanas de duración utilizando 48 vacas de lactancia temprana y media, donde se ofreció ensilaje de pastura *ad libitum*, y dos estrategias de suplementación. Una estrategia fue GRU fija, asignando 9 kg de concentrado en materia fresca (MF) por vaca por día durante todo el experimento. La otra estrategia fue IND variable, donde se tenía en cuenta los rendimientos productivos durante la segunda semana de lactancia y se fue reduciendo un kg de concentrado en las semanas

10, 15 y 20, para la cual las cantidades promediaron 9 kg (como en la estrategia anterior), con una variación entre 5,8 a 13,8 kg/vaca/día. No hubo un efecto del método de asignación de alimentación sobre la producción de leche, o las variaciones en el PV y CC. En otro trabajo que empleó una metodología similar, Taylor y Leaver (1986) compararon una estrategia de asignación del concentrado GRU fija o IND variable, y dos niveles de asignación de concentrado (7 y 11 kg de MS). Los resultados obtenidos fueron, en general, similares a los anteriores, donde la estrategia de asignación de concentrado no afectó a la producción de leche media (23,9 y 22,9 kg/vaca para GRU fija e IND variable, respectivamente), o las variaciones de PV y CC, pero la cantidad de concentrado nuevamente sí afectó a estas variables. En este trabajo se pudieron observar algunos beneficios para la suplementación GRU fija, donde la tasa de disminución de la producción de leche luego del pico fue menor, y el rendimiento de grasa láctea fue mayor, principalmente debido al mayor rendimiento numérico de las vacas con alta asignación de concentrado y con la estrategia GRU fija. En otro estudio con una metodología similar al anterior (Moisey y Leaver, 1985), durante 20 semanas en lactancia temprana se compararon tratamientos GRU fija e IND variable y dos cantidades de concentrado (6 y 12 kg/día) sobre una dieta base de ensilaje de pasturas ofrecido *ad libitum*. Para el tratamiento IND variable las cantidades de concentrados fueron de 4 a 8, y de 9 a 15 kg/día para los niveles de 6 y 12 kg/día, respectivamente. Los autores no reportaron efectos de las estrategias de asignación del concentrado sobre la producción de leche, pero sí de la cantidad suministrada, que fue mayor al suministrar 12 respecto a 6 kg/día.

Haciendo referencia a las evidencias de trabajos realizados durante la década del 1970 y 1980, la estrategia de asignación del concentrado en base a los requerimientos individuales presentó pocos beneficios sobre las diferentes variables productivas. El consumo de concentrado promedio fue 8,5 y 7,9 kg MS, y la producción de leche fue 24,0 y 23,7 kg/día para los tratamientos con suplementación GRU e IND, respectivamente. Esto sugeriría que, donde se ofrece ensilaje de alta calidad *ad libitum*, el método de asignación de concentrado en vacas en lactancia temprana y media no es un factor importante en definir la producción o la movilización de reservas corporales, por lo que parecería innecesario realizar este tipo de ajuste en la asignación bajo esas condiciones. Los motivos de la poca incidencia de la estrategia de asignación IND sobre las variables productivas o medidas corporales evaluadas en trabajos realizados en estas décadas fueron planteadas por Hills et al. (2015). Según estos autores, la posibilidad de compensar una asignación restringida de concentrado a través de un mayor consumo de MS de ensilaje (al ser este ofrecido *ad libitum*) habría permitido a las vacas de mayor potencial manejadas en la estrategia GRU igualar el desempeño de vacas de similar potencial manejadas en IND. Otro factor importante para considerar sería el posible menor potencial genético de las vacas utilizadas en estos estudios (al menos comparadas con las vacas actuales), las que teóricamente presentan una reducida RS, y, por ende, no permitiría esperar desempeños destacados en una estrategia IND.

Posteriormente se publicaron otros trabajos con vacas que presentaban un mayor potencial genético de producción de leche, y con mayor asignación de concentrado que las de los trabajos anteriores. Por ejemplo, Rijpkema et al. (1990) realizaron 3 experimentos durante lactancia temprana, por 24 semanas, donde vacas multíparas en confinamiento con una dieta base de ensilaje de pasturas *ad libitum* se usaron para comparar una suplementación GRU fija o IND variable, ajustada de acuerdo a la producción de leche de la semana previa. En el experimento N°1 se compararon dos estrategias de asignación del concentrado: suplementación GRU fija, asignando 11,5 kg/vaca/día de concentrado, o suplementación IND variable, ajustando en base a los requerimientos individuales de energía, a partir de restar la energía aportada por el consumo de ensilaje y los requerimientos de mantenimiento, producción de leche y grasa de la semana previa. En el experimento N°2 se usó una similar metodología, pero a las vacas en IND variable se les asignó el concentrado de forma creciente hasta la semana 12 para luego descender. Para el experimento N°3 se utilizaron 64 vacas multíparas con una dieta base que se diferenciaba por ser compuesta de ensilaje de pasturas y el agregado de ensilaje de maíz, y se plantearon evaluar hasta qué nivel de asignación del concentrado se podrían obtener beneficios en la suplementación IND variable. Para este se evaluaron 4 tratamientos con alta o baja (12 o 10 kg/vaca/día) asignación del concentrado, y dos estrategias de asignación similares a las detalladas para el experimento N°1. A partir de los diferentes experimentos se concluyó que no hubo efecto de la estrategia de asignación de concentrado sobre el rendimiento productivo, y que, cuando las vacas se alimentan de forma grupal con forraje *ad libitum*, no habría un beneficio por alimentar a vacas de alto rendimiento con una suplementación IND variable.

Coulon et al. (1994) realizaron un experimento utilizando 148 vacas primíparas entre la semana 4 a la 18 posparto, por 4 años consecutivos, donde examinaron el efecto del nivel y la estrategia de asignación del concentrado con una dieta base de ensilaje de pasturas ofrecida *ad libitum* y 4 kg de heno, sobre el rendimiento total de las lactancias. Para cada año se compararon los mismos cinco tratamientos: tres niveles de suministro de concentrado: alto (6,3 kg MS/vaca/día), medio (5 kg MS/vaca/día) y bajo (3,6 kg MS/vaca/día). Para los niveles medio y bajo se aplicaron dos patrones de asignación diferentes: suplementación GRU fija o IND fija (en base a la producción de leche esperada). Los autores concluyeron que, independientemente del nivel de suministro de concentrado, las estrategias de asignación de este no afectaron a la producción de leche.

Maltz et al. (1992) evaluaron dos estrategias de asignación de concentrado en un predio comercial, usando 350 vacas de 20 semanas de lactancia. En un tratamiento de suplementación semi-IND variable el concentrado se suministró a un grupo de vacas en auto-alimentadores individualmente, separado de la ración totalmente mezclada, teniendo en cuenta como variables de ajuste a la paridad, la producción de leche, PV inicial y sus variaciones (ante el aumento en un kg de PV se reducía la asignación en un kg de concentrado al día, y si el PV permanecía constante se le aumentó un kg de concentrado al día), a partir de la lectura de comedero, y la composición química del concentrado y la

ración totalmente mezclada. Para la estrategia de asignación del concentrado GRU variable las vacas fueron suplementadas con concentrado que fue incluido en la ración totalmente mezclada. Para ambos grupos se buscaba que la dieta total fuera similar tanto en calidad como cantidad. En ambos grupos se hicieron 2 ajustes en la asignación del concentrado en las semanas 4 y 10 del experimento, teniendo en cuenta el potencial de producción de leche de sub-grupos de animales. Se reportó que la estrategia semi-IND variable, basada en un ajuste por variables fisiológicas, además de la producción de leche, aumentó la producción por unidad de PV y los componentes de la leche, en comparación con las vacas a las que se les ofreció el concentrado junto a la ración totalmente mezclada con una estrategia de suplementación GRU variable. Hay que señalar que, aunque la ingesta de concentrados fue 1 kg menor para las vacas en semi-IND variable, estas vacas pudieron compensar con un mayor consumo de ración totalmente mezclada, o una menor ganancia de PV. Estos autores comentan que la suplementación semi-IND variable permitiría un manejo más flexible de los animales, y, posiblemente más económico de la alimentación de los animales en tambos comerciales, aunque no realizaron una estimación en este sentido.

En esta segunda tanda de ensayos revisados pertenecientes a la década del 90' que comparan estrategias de asignación del concentrado GRU vs IND, estos continúan siendo realizados a nivel de sistemas confinados, y con ensilaje de pastura y/o maíz o ración totalmente mezclada ofrecidos *ad libitum*, por lo que los resultados en la mayoría de los casos no difieren entre tratamientos, a excepción del trabajo de Maltz et al. (1992), que fue justamente el que incluyó una mayor cantidad de variables para realizar los ajustes en la estrategia IND. A diferencia de los trabajos publicados entre 1970 a 1980, los rangos de producción fueron superiores (27 a 44 kg/vaca/día), lo cual podría deberse a un mayor potencial productivo de las vacas utilizadas, o una mayor asignación de concentrado (10 a 16 kg MS/vaca/día), a excepción del trabajo de Coulon et al. (1994), donde se usaron menores cantidades.

Luego de un largo período sin trabajos publicados, hubo un renovado interés que llevó a que, durante la década de 2010, se llevaran una nueva serie de estudios en esta temática. Estos estudios nuevamente compararon estas estrategias de asignación del concentrado en sistemas confinados, con una dieta base de ensilaje de pasturas y/o maíz ofrecido *ad libitum*.

Lawrence et al. (2015) y Lawrence et al. (2016) utilizaron 108 vacas HF en lactancia temprana a media durante 11 semanas por dos años consecutivos, y compararon 2 estrategias de asignación del concentrado, y 2 niveles de suplementación. Utilizaron como dieta base una ración totalmente mezclada ofrecida *ad libitum*, compuesta por ensilaje de maíz y de pasturas de alta calidad, harina de soja y melaza. La primera estrategia de asignación del concentrado fue semi-IND fijo, donde a partir de la producción previa, medida en la semana 3 y 4 de lactancia, las vacas se distribuyeron en subgrupos en base a su potencial de producción en baja (<20 kg/día), media (23,5 kg/día) y alta (26,9 kg/día), a las cuales se le asignó diferentes cantidades de concentrado dentro de la sala de ordeño, sin

realizar modificaciones a lo largo del período experimental. La otra estrategia fue GRU fija, donde a cada vaca se le ofreció el mismo nivel de oferta de concentrado sin tener en cuenta el potencial de producción individual. Es decir, se armaron tratamientos GRU fija con alta y baja asignación de concentrado, y tratamientos semi-IND fija de alta, media y baja producción, con alta y baja asignación de concentrado, siendo las asignaciones de concentrados de 7, 4, 8,7, 7, 5,3, 5,7, 4 y 2,3 kg MS/vaca, respectivamente. No se detectaron diferencias en la ingesta de MS, producción y composición de leche, variación de PV, concentraciones sanguíneas de glucosa, ácidos grasos no esterificados y urea, o el balance energético entre los tratamientos, si bien las vacas con suplementación semi-IND fija presentaron una menor pérdida de CC que con GRU fija (Lawrence et al., 2015). Analizando dentro de los tratamientos para ver qué pasaba con aquellos animales de mayor o menor potencial de producción, encontraron una interacción entre la estrategia de suplementación con concentrado y el potencial de producción de leche inicial: aquellas vacas de mayor potencial productivo producían significativamente más leche cuando era suplementadas con la estrategia semi-IND fija respecto a GRU fija (Lawrence et al., 2016).

Pocos estudios examinaron los efectos del método de alimentación cuando el concentrado es ofrecido junto o separado al forraje conservado. Purcell et al. (2016), en Irlanda del Norte llevaron a cabo un experimento durante 21 semanas, donde utilizaron 88 vacas HF de lactancia temprana a media en confinamiento con ensilaje de maíz y pastura ofrecido *ad libitum*, y 1 kg de concentrado ofrecido en la sala de ordeño como dieta base. Evaluaron 4 tratamientos en los que se asignaron de forma diferente 11 kg/día de concentrado. Un tratamiento fue suplementación GRU fija, asignando el concentrado fuera de la sala de ordeño (10 kg). Un segundo tratamiento fue suplementación IND variable fuera de la sala de ordeño, donde el concentrado se ofreció en base a la producción inicial en la semana 2 posparto, siguiendo una de tres curvas de datos de rendimientos históricos, correspondientes a un potencial alto, medio o bajo (>45, entre 36 y 45, y <36 kg/vaca/día, con una asignación media de concentrado de 13,7, 11,2 y 7,5 kg/vaca/día, respectivamente). Además, las asignaciones de concentrado fueron ajustadas semanalmente según la producción en la semana previa. Se plantearon dos tratamientos más: en uno, 5 kg de concentrado se ofrecieron mezclados con el ensilaje como una ración totalmente mezclada y los restantes 6 kg fueron ofrecidos fuera de la sala, siguiendo las pautas de asignación usadas en IND variable del tratamiento bajo un esquema de manejo, y en el otro los 11 kg de concentrado se ofrecieron como una ración totalmente mezclada siguiendo las pautas de asignación de GRU fija. No se detectó un efecto de la estrategia de alimentación (GRU o IND), tanto cuando el concentrado se ofreció junto o separado al ensilaje sobre la ingesta de MS total, la producción de leche, las variaciones en el PV y CC, el balance energético y la concentración de metabolitos sanguíneos indicadores del metabolismo energético (beta hidroxidobutirato, glucosa, ácidos grasos no esterificados) y proteico (proteínas séricas totales, urea).

En el estudio de Little et al. (2016) se compararon dos estrategias de asignación del concentrado contrastantes durante los primeros 140 días de lactancia de 77 vacas HF de

alto potencial genético, que fueron manejadas en confinamiento de forma individual. A las vacas de la estrategia GRU fija se le ofreció una dieta mixta compuesta por ensilaje de pasto y concentrado en una proporción 50:50 en MS, para alcanzar una producción promedio de 40 kg. A las vacas de la estrategia IND variable se les ofreció una similar dieta base, pero el concentrado fue incluido para lograr una ingesta media de 6 kg por vaca por día, y fue formulado para satisfacer las necesidades energéticas de mantenimiento más las de una producción de 24 kg/día de leche. Se ofrecieron concentrados adicionales a través de un sistema de alimentación fuera de la sala, con la cantidad ofrecida ajustada en función de la producción de leche de cada vaca durante la semana anterior (0,45 kg por cada kg de leche adicional). Los autores no detectaron efecto de las estrategias sobre el consumo de MS de concentrado (11,5 y 11,6 para GRU fija e IND variable, respectivamente), la producción de leche media (39,3 y 38,0 kg/día para GRU fija e IND variable, respectivamente), el PV y la CC.

Sin embargo, en el trabajo anterior el patrón de ingesta de MS de concentrado y de la producción de leche difirió entre los tratamientos; si bien para el tratamiento GRU fija estas variables se mantuvieron estables a lo largo del período experimental, para IND variable fueron en aumento durante las primeras 7 semanas postparto, y luego disminuyeron. En línea con los hallazgos de Lawrence et al. (2016), las vacas en el tratamiento IND variable se habrían visto beneficiadas con este manejo, ya que tuvieron un mayor rango de producción de leche que las vacas de GRU fija, y, además, la pendiente de la línea de respuesta productiva para IND demostraría que el balance energético negativo, a medida que aumentó la producción en lactancia temprana, no habría sido tan severo como para GRU fija (-2,07 vs -3,39 MJ/kg de leche). Esto a su vez podría explicar que las vacas del tratamiento IND variable tuvieran una tasa de preñez más alta en el primer y segundo servicio, y tendieran a tener una tasa preñez más alta a los 100 días que GRU fija. Estos resultados podrían justificar la utilización de la suplementación IND variable para obtener beneficios a nivel reproductivo, sobre todo en las vacas de mayores requerimientos, pero se requiere más investigación sobre los efectos de tal protocolo de manejo nutricional de la reproducción, debido a que este fue uno de los primeros en evaluar variables reproductivas.

Hasta aquí se han detallado los trabajos que comparan las estrategias de suplementación GRU e IND sobre sistemas productivos en confinamiento. A continuación se revisarán los escasos experimentos que evaluaron estas estrategias de asignación del concentrado en sistemas pastoriles.

Delaby y Peyraud (1997) realizaron un experimento durante 8 semanas utilizando vacas lecheras de lactancia media manejadas en pasturas ofrecidas *ad libitum*. Se plantearon 4 tratamientos: un tratamiento control sin suplementación, dos niveles de suplementación (2 o 4 kg de concentrado asignado en la sala de ordeño a cada vaca) con una estrategia GRU fija a lo largo del período experimental, y suplementación IND fija con una asignación de entre 1,3 a 5 kg por vaca diariamente (promedio 3,3 kg/MS). Para esta última estrategia se tuvo en cuenta la producción previa, donde por cada 3 kg de leche por encima de 20 kg se

asignaba 1 kg/día de concentrado. Los resultados obtenidos demuestran que no hubo efecto de las estrategias de suplementación sobre la producción de leche y sólidos, la ganancia de PV, y la eficiencia del uso del concentrado (esta última una variable que no había sido evaluada previamente en los trabajos revisados), que según los autores habría sido alta (0,85 kg de leche corregida por sólidos/kg MS de concentrado, promedio para ambos tratamientos). Los autores concluyeron que una estrategia de suplementación IND no afecta la producción de vacas lecheras de lactancia media sobre pasturas de primaveras ofrecidas *ad libitum*.

En otro trabajo realizado en Irlanda del Norte (Dale et al., 2015) durante 122 días, se utilizaron 56 vacas HF de lactancia media a tardía, manejadas sobre una pastura ofrecida *ad libitum*, y se evaluaron dos estrategias de asignación del concentrado, realizando ajustes mensualmente para las dos y manteniendo iguales cantidades para cada tratamiento. En el tratamiento GRU variable, la asignación del concentrado se fijó en 0,6 kg de concentrado MF por kg de leche extra a lo sostenido por la pastura (Ferris, 2007), y esta tasa se usó para calcular una asignación en común para las vacas de este tratamiento. La asignación de concentrado total dentro de GRU variable se dividió luego por la diferencia de producción de leche total y la sostenida por la pastura, para obtener un requerimiento de concentrado por kg de leche extra producido para cada vaca del tratamiento IND variable, con la finalidad de mantener iguales cantidades entre tratamiento. Para la suplementación IND variable, se calculó la diferencia entre la producción de leche de cada vaca y la producción de leche sostenida por la pastura, y este valor se utilizó para finalmente calcular los requisitos de concentrados individuales, con un mínimo diario de 1 kg, y un máximo diario de 8 y 10 kg para vacas primíparas y multíparas, respectivamente. Los tratamientos no tuvieron ningún efecto sobre la producción diaria de leche y sólidos, pero la concentración de ácidos grasos poliinsaturados totales fue más alta y la de ácido linoleico conjugado tendió a ser mayor para IND variable. Tampoco se vieron diferencias en el PV y la CC, la concentración sanguínea de BHB, glucosa, y ácidos grasos no esterificados, aunque vieron que las vacas en GRU variable tenían concentraciones plasmáticas de urea más altas. Es uno de los pocos trabajos que, comparando estas estrategias, evalúa distintos metabolitos sanguíneos, y el único que evaluó los posibles beneficios de la suplementación IND sobre el perfil de grasa de la leche.

A pesar de que en el trabajo de Dale et al. (2015) no se observaron efectos de las estrategias de asignación del concentrado sobre la producción promedio, al analizar separadamente dentro de los tratamientos a las vacas de menor y mayor rendimiento, reportaron que el rendimiento diario de sólidos lácteos fue mayor para las vacas de alto rendimiento que se encontraban en suplementación IND variable (1,88 kg de sólidos/vaca/día) con respecto a las demás (1,78, 1,50 y 1,39 kg/vaca/día para GRU variable de mayor rendimiento, GRU variable de menor rendimiento e IND variable de menor rendimiento, respectivamente). Estos resultados coinciden con los de Lawrence et al. (2016) y Little et al. (2016), sugiriendo que aquellas vacas de mayor potencial productivo producirían significativamente más leche cuando se suplementan de forma IND

respecto a GRU, mientras que las vacas de bajo potencial responderían menos a la entrega de energía adicional a través de un esquema IND.

Resultados similares fueron encontrados en un estudio reciente (Patton y Lawless 2013), donde compararon el desempeño de vacas HF que se manejaron bajo dos estrategias de asignación de concentrados durante una lactancia completa, incluyendo un período de pastoreo. Durante este período de pastoreo (sin identificar asignación), cuando las vacas estaban en lactancia media a tardía, el desempeño de las vacas manejadas con el tratamiento GRU fue similar al de las vacas del tratamiento IND (donde el concentrado se ajustaba según el rendimiento de sólidos lácteos).

En otro trabajo realizado en Australia por García et al. (2007) durante 5 semanas, se comparó la suplementación GRU fija con una asignación de 5 kg/día de concentrado, y la suplementación IND variable, donde se asignó entre 3 y 7 kg de concentrado dependiendo de la producción de leche previa de los últimos 7 días. El concentrado fue ofrecido en la sala de ordeño, y la cantidad promedio asignada fue igual para cada tratamiento (5 kg), siendo similar a la de algunos trabajos citados previamente (Delaby y Peyraud, 1997; Dale et al., 2015). Sin embargo, el acceso a la pastura (*Medicago sativa*) fue restringido y ofrecido en la mañana (8 a 10 kg MS/vaca/día), mientras que en la tarde los animales accedieron a ensilaje de maíz con una asignación restringida (7,2 kg MS/vaca/día). Los autores reportaron mayores rendimientos de leche (2,9%), de grasa (11,1%) y de sólidos lácteos (7,0%) cuando a las vacas se les ofreció concentrados con una estrategia de suplementación IND variable respecto a GRU fija. Según estos autores, la diferencia productiva a favor de IND variable, en discrepancia con los trabajos anteriores, podría ser atribuible a que la oferta de forraje basal (pastura y ensilaje) fue restringida, lo que habría determinado un mayor DER, y, por ende, una mayor RS para IND variable.

2.4 Síntesis de la información revisada

Los resultados obtenidos en los estudios realizados en la década de 1970 a 1990, son consistentes en señalar la falta de efecto de estrategias de asignación del concentrado IND sobre la producción de los animales. Aunque la validez de los resultados de estos trabajos es irreprochable, se deben considerar algunos factores importantes al interpretar los mismos. En primer lugar, todos fueron realizados en condiciones de confinamiento, en donde la fuente de forraje fue ensilaje de pastura de alta calidad ofrecido *ad libitum*. Esto permitió que los animales de altos requerimientos suplementados con una estrategia GRU pudieran compensar la restricción en la oferta de concentrado a través de un mayor consumo de forraje conservado o ración totalmente mezclada. Leaver (1988) concluyó que la estrategia de asignación del concentrado tendría poco efecto en la producción de leche a menos que se restringiera la oferta de forraje; esto permitiría aumentar el DER, lo que podría resultar en una mayor respuesta al concentrado cuando este fuera usado en una estrategia IND. Dicho de otro modo, los beneficios de la estrategia de suplementación IND serían más evidentes cuando el plano de alimentación fuese más limitante. Además, se

debe tener en cuenta que gran parte de la literatura revisada, particularmente los estudios realizados entre 1970 y 1990, utilizaron vacas con un menor potencial productivo que el actual. Es posible que este factor haya limitado las eventuales respuestas a estrategias IND, en la medida de que la respuesta animal al uso del concentrado depende de forma importante de la genética animal (Horan et al., 2005a).

La oferta de pasturas *ad libitum* también podría explicar la falta de efecto observada en trabajos realizados en sistemas pastoriles como los de Delaby y Peyraud (1997) y Dale et al. (2015). Es esperable que el efecto de la suplementación IND fuera visible al aplicar una leve restricción de forraje, como se practica en sistemas eficientes de pastoreo rotacional, donde se limita la asignación de pasto al 90% de la capacidad de consumo voluntario, para lograr un adecuado compromiso entre la producción por vaca y por hectárea (Peyraud y Delagarde, 2013). En efecto, cuando se restringe la asignación de pastura, la tasa de sustitución se reduce y la RS marginal aumenta (Grainger y Mathews, 1989; Stockdale, 2000b). Y de hecho, el único experimento que reportó ventajas productivas evidentes de una estrategia IND respecto a GRU (independiente de si el sistema era confinamiento o pastoril) fue el de García et al. (2007), donde la oferta de pastura y ensilaje fue restringida. Pero hay muy pocas comparaciones entre estas estrategias de suplementación en vacas en pastoreo (Delaby y Peyraud, 1997; García et al., 2007; Dale et al., 2015), y menos aún son los trabajos que restringen la oferta de pastura (García et al., 2007).

Además, en los antecedentes revisados la suplementación con concentrados de tipo de IND se realizó teniendo en cuenta principalmente los requerimientos de mantenimiento y producción de leche previa (eg. Gordon, 1982; Little et al., 2016) o esperada (eg. Rakes y Davenport, 1971; Purcell et al., 2016) o curvas de producción históricas (Purcell et al., 2016), pero no consideraron requerimientos de gestación, actividad y crecimiento. Solamente en unos pocos trabajos se tuvieron en cuenta variables puntuales como la paridad (Dale et al., 2015), el estado reproductivo y la etapa de lactancia (eg. Rakes y Davenport, 1971; experimento 2 de Rijpkema et al., 1990), la CC y el PV (Maltz et al., 1992), la composición química de la leche (Ripkema et al., 1990), o el balance de energía de las vacas (Maltz et al., 1992).

Otros de los factores a tener en cuenta sobre los trabajos revisados es que en varios la cantidad de concentrado asignada por vaca en la estrategia IND fue definida al comienzo del experimento, pero luego no varió a lo largo del mismo, lo que correspondería a una suplementación IND fija (eg. Delaby y Peyraud, 1997; Lawrence et al., 2015; Lawrence et al., 2016). En este caso, la cantidad de concentrado no acompañó la dinámica de la demanda de nutrientes, y, particularmente en el caso de estudios realizados en lactancia temprana, pudo haber limitado la respuesta de las vacas manejadas en IND fija. En el mismo sentido, en la mayoría de los estudios revisados la cantidad total diaria de concentrado ofrecida en las estrategias GRU e IND fue igual, ya que se buscaba evaluar el efecto del método de suplementación *per se*; sin embargo, este factor del diseño de los estudios también pudo haber limitado la respuesta de los animales manejados bajo IND.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Uruguay los sistemas de producción de leche son en su mayoría a cielo abierto y con base pastoril, los cuales requieren de la incorporación de concentrados en la dieta para cubrir los requerimientos nutricionales de las vacas en lactación. Sin embargo, los concentrados en base a granos de cereales generalmente son más costosos que los forrajes (Finneran et al., 2012) y, además, se pronostica que su precio aumente a futuro (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Por este motivo, en los sistemas de producción de leche que utilizan concentrados en la dieta, se debe asegurar que estos sean usados eficientemente para mejorar los resultados económicos prediales, competitividad y resiliencia ambiental.

Los concentrados se pueden ofrecer a las vacas en pastoreo con diferentes estrategias de asignación, pero frecuentemente son factores externos a los requerimientos animales los que suelen determinar el método finalmente utilizado. La suplementación GRU se plantea para cubrir el requerimiento de una vaca teórica y representativa del grupo, que puede corresponder al promedio o a un percentil superior, donde se ofrece a todas las vacas de un grupo la misma cantidad de concentrado durante un determinado período de tiempo, independientemente de las características de cada individuo. Aunque está muy difundido por su simplicidad, esta estrategia podría reducir la eficiencia en la utilización del alimento más caro. Por otra parte, la suplementación IND, en base a los requerimientos individuales, teóricamente permitiría obtener beneficios sobre la salud, la reproducción, la producción de leche marginal, y optimizaría el uso de los concentrados (Hills et al., 2015).

La elección de la forma más eficaz de proporcionar concentrados sigue siendo un desafío para los productores de lácteos (Hills et al., 2015). En efecto, se ha detectado que la RS marginal al uso de concentrados en predios comerciales es inferior a la alcanzada en experimentos (Ramsbottom et al., 2015). En una encuesta de tambos netamente pastoriles de Nueva Zelanda (Dela Rue y Eastwood, 2017), pero que tenían la posibilidad de suplementar de forma IND a las vacas dentro de la sala de ordeño, si bien los productores y asesores identificaron ventajas de esta tecnología a nivel comercial, no conocían con plenitud la utilización de la tecnología. Actualmente hay un renovado interés en evaluar la suplementación en base a los requerimientos individuales de los animales en sistemas pastoriles, que permitan asignar más eficientemente el concentrado (Dela Rue y Eastwood, 2017).

No existe información en nuestro país sobre el desempeño de vacas HF alimentadas en base a pastoreo restringido y suplementación IND con concentrados con respecto a una suplementación GRU. A nivel internacional son escasos los estudios que evaluaron la suplementación IND o GRU, y muchos de ellos fueron realizados en las décadas de 1970 y 1980, con vacas de menor potencial que el actual, en confinamiento, y utilizando como

dieta base a ensilados de pastura o maíz de alta calidad, ofrecidos a voluntad, lo que habría permitido que los animales de mayores requerimientos compensaran la menor oferta de concentrados en las estrategias de tipo GRU, y, en definitiva, explicaría la falta de respuesta a estrategias de tipo IND. Sin embargo, es escasa la información sobre qué ocurre al usar una estrategia de asignación del concentrado que toma en cuenta los requerimientos individuales (mantenimiento, crecimiento, actividad, producción de leche y sólidos y gestación), y donde semanalmente se ajusta la asignación del concentrado en función de cómo varían estos, en vacas de alta producción sobre una oferta de pastura restringida. Por ejemplo, en el único trabajo en el que se evaluaron estas estrategias bajo condiciones similares (García et al., 2007) también alimentaron a los animales con ensilaje de maíz, lo que generaría confusión sobre la aplicabilidad de los hallazgos para los sistemas netamente pastoriles que restringen la asignación de pastura. Asimismo, los trabajos revisados no han profundizado en los efectos que generan las estrategias de suplementación individual sobre variables como el comportamiento en pastoreo, el ambiente ruminal, la eficiencia de uso del alimento, o el margen de alimentación.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1 Hipótesis

La producción de sólidos lácteos y la eficiencia de utilización del alimento para producción de leche será mayor en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrados en base a los requerimientos individuales que de forma grupal.

4.2 Objetivos

4.2.1 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es evaluar en vacas lecheras con una oferta restringida de pasturas la respuesta a dos estrategias de asignación del concentrado.

4.2.2 Objetivos específicos

En vacas lecheras a pastoreo, evaluar el efecto de estrategias de asignación del concentrado de tipo grupal con cantidades fijas, o individualizada con cantidades variables, sobre:

- El comportamiento de alimentación y posición.
- El consumo de nutrientes.
- Las características del ambiente ruminal.
- La producción y composición de la leche.
- La eficiencia bruta de utilización de los nutrientes.
- El margen de alimentación.

5. ESTRATEGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Para responder a la hipótesis y cumplir con los objetivos planteados se realizó un experimento de campo en la primavera del año 2018 (desde el 4 de septiembre hasta el 27 de noviembre) en el tambo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (**INIA**), estación experimental “La Estanzuela” (34° 20’S, 57°41’O), ubicado en el departamento de Colonia. En este experimento se utilizaron vacas lecheras que fueron alimentadas con una dieta a base de pasturas sembradas y fueron sometidas a dos estrategias de asignación del concentrado contrastantes. El protocolo de dicho experimento fue avalado por la Comisión de Ética en el Uso de Animales de INIA (número de registro 0009/11).

Las muestras de leche que se obtuvieron se analizaron en el Laboratorio de Calidad de Leche de INIA, las de rumen en el Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Producción Animal (**IPAV**) de Facultad de Veterinaria (Universidad de la República), ubicado en el departamento de San José, y las muestras de alimentos fueron analizadas en el Laboratorio de Nutrición Animal de INIA y del IPAV.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Diseño experimental, animales y tratamientos

Se seleccionaron 30 vacas Holstein, tanto multíparas como primíparas (10 vacas multíparas y 5 primíparas en cada tratamiento), de partos de invierno, que se encontraban mayoritariamente en lactancia media. Las vacas fueron asignadas a 2 tratamientos según un diseño de bloques completos al azar. Para bloquear a los animales se tomó en cuenta la paridad ($2,8 \pm 1,4$ lactancias), la producción de leche en las semanas 3 y 4 de lactancia ($36,5 \pm 8,0$ kg/día), y los días de lactancia ($122,6 \pm 74,5$), el PV ($601 \pm 67,5$ kg) y la CC [$2,6 \pm 0,1$; usando una escala de 5 puntos; Edmonson et al. (1989)] al comienzo del experimento.

El experimento tuvo una duración de 12 semanas. Durante las primeras 3 semanas todos los animales recibieron el mismo manejo de alimentación (que se detalla a continuación), y se registraron datos de producción y composición de leche, PV, CC; estos datos fueron usados para realizar ajustes por covariables (período de covariable). En las semanas 4 a 6 los animales fueron adaptados a los tratamientos (período de adaptación), y en las semanas 7 a 12 se realizaron las mediciones en los alimentos y los animales (período de mediciones), que posteriormente fueron analizadas estadísticamente.

Durante todo el experimento los animales pastorearon una pastura mezcla de alfalfa (*Medicago sativa*) y dactylis (*Dactylis glomerata*) de segundo año. Los dos tratamientos evaluados correspondieron a distintas estrategias de asignación de concentrado en la dieta de los animales, que se describen a continuación:

- Suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado (**GRU**)
- Suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado (**IND**)

En GRU, el concentrado se ofreció en igual cantidad a todas las vacas del grupo, y esta cantidad se mantuvo fija durante todo el experimento. Para el cálculo de la misma se estimaron los requerimientos de energía neta para lactancia (**ENL**) promedio de todo el lote empleando las recomendaciones del NRC (2001), en base a las características promedio del lote (producción y composición de leche, PV, CC, días y números de lactancia, días de gestación, actividad de caminar y pastoreo y crecimiento) obtenidos durante el período covariable. Para estimar la cantidad de concentrado a asignar, se restó al requerimiento de ENL antes calculado el aporte estimado de ENL de la pastura; utilizando la información de concentración de ENL obtenida durante el período de covariable y el consumo de pastura objetivo (14 kg de MS/vaca/día). Este dato de consumo objetivo de MS de pastura surge como un valor alcanzable para vacas en esta etapa de lactancia, en doble turno de pastoreo y suplementación con un concentrado similar al usado en esta

tesis, durante la primavera (Capelesso, 2020; DMV Sofía Stirling, com. pers.) La diferencia en el aporte de ENL se cubrió con un concentrado comercial, y se utilizó la concentración de ENL del mismo, analizada durante el período de covariable, para determinar la cantidad a asignar.

En IND, el concentrado se asignó individualmente según la producción y composición de leche, PV, CC, días de lactancia, número de lactancias y días de gestación de cada animal en la semana previa. Con esta información, se estimaron los requerimientos de ENL de cada animal como en GRU, y, también como en GRU, se descontó el aporte esperado de ENL de la pastura (asumiendo que cada animal cosecharía la totalidad de la oferta de 14 kg MS), para determinar la cantidad a ofrecer de concentrado a cada animal en cada semana. La cantidad que se ofreció en cada turno de ordeño se limitó a no más de 5,5 kg de MF, para reducir posibles riesgos de acidosis. En ambas estrategias de asignación del concentrado no se tuvo en cuenta para el ajuste semanal en la asignación del concentrado la variación en la composición química que los alimentos podrían tener a lo largo de las semanas, siendo utilizado los datos de composición química analizados al inicio del experimento (período de covariable).

En la mayoría de los estudios revisados la cantidad total diaria de concentrado ofrecida en los tratamientos con suplementación GRU o IND fue igual, de forma de evaluar el efecto del método de suplementación *per se*. Sin embargo, al poner un límite máximo a la cantidad de concentrado a suministrar a las vacas en los tratamientos de suplementación IND, se consideró que esto podría limitar las eventuales ventajas productivas de esta estrategia. Por este motivo fue que, en este experimento, las cantidades de concentrado ofrecidas en IND pudieron variar durante el experimento, por lo que la cantidad total diaria de concentrado ofrecida no tuvo por qué ser igual en ambos tratamientos. Si bien esto implica una confusión entre el método de oferta *per se* y la eventualmente la cantidad de concentrado a suministrar, por los motivos anteriores se prefirió esta comparación de sistemas (entendiendo por tal la suma del método de suministro y si las cantidades variaban o no). Adicionalmente, el tratamiento GRU con cantidades fijas representaría un testigo habitualmente utilizado en condiciones comerciales de Uruguay (Aguerre y Chilbroste, 2018), siendo esta estrategia posible de asignar durante un periodo experimental corto.

Todas las vacas fueron suplementadas durante el período de adaptación y mediciones con un concentrado comercial (ERRO, Soriano, Uruguay), que estaba constituido por grano de maíz, harina de soja, harina de girasol, afrechillo de trigo, afrechillo de arroz desengrasado, núcleo de minerales, vitaminas, melaza, y urea (Cuadro I). El mismo fue ofrecido en comederos individuales dentro de la sala de ordeño, en partes iguales, durante los dos ordeños diarios (0600 h y 1530 h). Para la oferta del concentrado se utilizó un sistema de racionadores automáticos (GEA Farming Systems, Düsseldorf, Alemania), que funcionaban a partir de la identificación de cada vaca una vez que ingresaba al puesto de ordeño, y permitían diferenciar la cantidad de concentrado a asignar, permitiendo aplicar las estrategias de suplementación planteadas. Durante el período de adaptación y

mediciones se realizaron calibraciones semanales para corroborar que la descarga de concentrado estuviera dentro de lo establecido, y también cuando ingresaba una nueva partida de concentrado a los silos de almacenamiento. Luego de la salida de los animales de la sala se corroboraba que no quedara concentrado residual en cada uno de los comederos que pudiera ser consumido por la próxima vaca a ordeñar.

Durante el período de covariable todos los animales se manejaron en conjunto, con una única sesión de pastoreo, y un turno de acceso a una ración totalmente mezclada con una relación forraje - concentrado de 55:45. En el período de adaptación y mediciones, las 30 vacas se manejaron como un único lote, y tuvieron dos sesiones de pastoreo (un pastoreo matutino de 0720 h a 1440 h, y un pastoreo vespertino de 1640 h a 0540 h), con una oferta diaria de 14 kg de MS/vaca por encima de 5 cm (Cuadro I), lo que permitiría alcanzar un consumo objetivo de pastura de 14 kg de MS/vaca/día, como se detalla previamente.

Un mes antes del inicio del experimento se fertilizó la pastura con 69 kg de N/ha como urea. El manejo del pastoreo se llevó a cabo de acuerdo con un objetivo de masa de forraje pre- y post-pastoreo de aproximadamente 2500 y 1500 kg MS/ha, de acuerdo con la propuesta de Fariña y Tuñón (2017), y la disponibilidad de MS se estimó diariamente mediante un pasturometro con sensor de luz C-Dax® (C-Dax Agricultural Solutions, Palmerston North, Nueva Zelanda) en base a la ecuación descrita por Waller (2020) [disponibilidad (MS/ha) = 14,7 x altura de C-Dax + 964,4]. Los potreros de pastoreo se ubicaban a 1,3 km de la sala de ordeño. Los animales tuvieron acceso ad libitum a agua en la sala de ordeño y en la pastura.

Cuadro I. Composición química de los alimentos utilizados (datos expresados como medias \pm el desvío estándar, en g/kg MS, salvo que indique otra unidad)

Item	Pastura	Concentrado comercial
MS (g/kg MF)	233 \pm 15,4	891 \pm 2,8
MO	899 \pm 3,8	932 \pm 6,8
FDN	492 \pm 19,7	265 \pm 32,4
FDA	237 \pm 11,5	101 \pm 11,2
LDA	101 \pm 3,0	45 \pm 1,8
PC	163 \pm 21,8	172 \pm 11,9
CNF	218 \pm 35,1	468 \pm 32,8
EE	26 \pm 2,5	27 \pm 2,6
NDIN (g/kg de N)	136 \pm 5,3	48 \pm 3,8
ADIN (g/kg de N)	45 \pm 3,3	35 \pm 2,3
ENL (Mcal/kg MS)	1,33 \pm 0,06	1,73 \pm 0,02

Item: MS = materia seca; MO = materia orgánica; FDN = Fibra detergente neutro expresada sin cenizas residuales; FDA = Fibra detergente ácido expresada sin cenizas residuales; LDA= Lignina insoluble en detergente ácido; CNF = Carbohidratos no fibrosos; NDIN = Nitrógeno insoluble en detergente neutro; ADIN = Nitrógeno insoluble en detergente ácido; ENL = Energía neta de lactación.

6.2 Mediciones

6.2.1 Comportamiento

El comportamiento individual se evaluó mediante la observación directa de los animales en la semana 10 durante 10,5 h, durante 2 días consecutivos. La observación comenzó inmediatamente después del ingreso de las vacas a la pastura luego del ordeño matutino hasta la puesta del sol, siendo interrumpida por el ordeño de la tarde. Se utilizó un muestreo instantáneo de tipo “scan” (Mendoza et al., 2018), con intervalos de 6 minutos. Dos observadores entrenados categorizaron el comportamiento de los animales de acuerdo a las siguientes actividades de alimentación: come (prensión, masticación e ingestión de la pastura), rumia (masticación del bolo regurgitado del alimento) y otras (ninguna de las anteriores); y de posición: parada (miembros en contacto con el suelo y en extensión, pero sin movilidad), echada (decúbito eternal o costal) y camina (miembros en movimiento). Se registraron 109 observaciones / animal / día, obteniendo un total de 218 observaciones por animal. De este modo, se calculó, para cada hora de observación, la frecuencia relativa de cada una de las actividades para cada vaca durante cada día de observación.

6.2.2 Consumo de nutrientes

Durante el período mediciones se determinó semanalmente el consumo individual de MS de concentrado (**CMSc**) en dos días consecutivos (cuatro turnos de ordeño), por diferencia entre la cantidad de concentrado (MF, ajustado por el contenido de MS) ofrecida y rechazada. Por otra parte, el consumo individual de MS de pastura (**CMSp**) se estimó semanalmente, durante el período de mediciones, por el método de diferencia de requerimientos de energía validado por Macoon et al. (2003). Brevemente, se restaron los aportes de ENL del concentrado consumido teniendo en cuenta su valor de ENL para cada semana a los requerimientos individuales totales entre ellos: ENL mantenimiento, actividad, gestación, producción y movilización o depósito de reservas corporales (en base a la variación diaria del PV y la CC) estimados para cada semana de acuerdo con el NRC (2001), y considerando las características individuales de las vacas durante esa semana. La diferencia se asumió que correspondió al consumo de ENL proveniente de la pastura, que fue transformado a kg consumidos de MS usando la concentración de ENL de la pastura en cada semana. A partir de los datos de ingesta de MS y de la composición química de los alimentos a lo largo de las semanas se calcularon las ingestas totales de: MS, MO, PC, FDN, fibra detergente ácido (**FDA**) y ENL.

6.2.3 Ambiente ruminal

En la semana 11 se tomaron muestras de líquido ruminal ($n = 6/\text{tratamiento}$), usando una sonda buco-esofágica (Golder et al., 2014), a las 5,5, 8,5, 14,5 y 22,5 horas luego del ordeño matutino (correspondientes a las 1200h, 1440h, 2040h y 0450h del día respectivamente). Las 4 mediciones se hicieron a lo largo de 4 días consecutivos. Después de la extracción, las muestras fueron evaluadas macroscópicamente, por parte de personal capacitado, para descartar la eventual presencia de contaminación con saliva; si se detectaba, la muestra se descartaba y se tomaba una nueva. Si se consideraba que la muestra no estaba contaminada, se registraba inmediatamente el valor de pH ruminal con un pH-metro digital (Orion Research Inc., Jacksonville, USA).

Luego, la muestra obtenida de cada vaca se subdividió en 4 submuestras, donde dos submuestras de 0,5 mL de líquido ruminal fueron conservadas en 0,02 mL de ácido sulfúrico (diluido al 50%, v/v) y congeladas a -18°C , para determinar la concentración de N-NH_3 por colorimetría de acuerdo a Weatherburn (1967), utilizando un espectrofotómetro (BEL Photonics®, S-2000, Piracicaba, Brasil). A las otras dos submuestras se les adicionó 0,5 mL de ácido perclórico 0,1 M como conservante, y fueron congeladas a -18°C para determinar las concentraciones de AGV (ácidos acético, propiónico y butírico) de acuerdo con Adams et al. (1984), utilizando un equipo HPLC (Dionex Ultimate® 3000, Waltham, USA) y una columna Acclaim Rezex Organic Acid H+ (8%), 7,8 x 300 mm y 210 nm. Las concentraciones de AGV fueron expresadas en términos absolutos (mM) y como % en relación a la concentración de AGVt. La concentración total de AGV se calculó como la suma de las concentraciones de ácido acético, propiónico y butírico.

6.2.4 Producción y composición de leche

La producción individual de leche de todas las vacas fue registrada diariamente durante todo el período experimental usando un sistema instalado en la sala de ordeño (DairyPlan C21, GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Alemania), donde se realizaba la identificación animal y el registro de la producción diaria automáticamente. Por otra parte, se obtuvieron semanalmente dos muestras compuestas por vaca, mezclando partes iguales de leche extraída en dos ordeños consecutivos para cada muestra compuesta, las cuales se almacenaron en tubos con conservante bronopol (Droguería Industrial Uruguay, Montevideo, Uruguay). Se analizó la composición química de la leche (grasa, proteína, lactosa y nitrógeno ureico) en el Laboratorio de Calidad de Leche de INIA La Estanzuela, con un equipo MilkoScan FT+ (Foss Electric, Hillerhød, Dinamarca), por el método analítico de espectroscopía infrarrojo medio transformado de Fourier, según lo establecido en la norma ISO 9622 por IDF (2013).

La producción de leche corregida por grasa al 3,5% (**LCG**) fue calculada según la ecuación: $LCG = (0,4324 * \text{kg de leche}) + (16,218 * \text{kg de grasa})$, y la producción de leche corregida por sólidos (**LCS**) fue calculada según la ecuación: $LCS = (12,24 * \text{kg de grasa}) + (7,10 * \text{kg de proteína}) + (6,35 * \text{kg de lactosa}) - (0,0345 * \text{kg de leche})$ (Tyrrell y Reid, 1965).

6.2.5 Eficiencia de uso de nutrientes y margen de alimentación

Con la información de producción de leche y consumo de nutrientes se estimaron las siguientes variables:

- Eficiencia de uso de la MS de concentrado consumido por litro de LCS producido (**EUC**) = g MS concentrado consumido / kg LCS.
- Eficiencia de uso de la MS total consumida para producción de LCS (**EUMS**) = kg LCS / kg MS total consumida.
- Eficiencia bruta de uso de la ENL total consumida para producción de leche (**EUE**)= Mcal ENL secretada en leche / Mcal ENL total ingerida.
- Eficiencia bruta de uso del N total consumido para producción de leche (**EUN**): N secretado en leche / N total ingerido. El N secretado en leche se calculó como secreción de proteína láctea / 6,38 (NRC, 2001).

El margen de alimentación fue calculado según la metodología del Programa de Producción Competitiva de CONAPROLE (2010), adaptada para estimarlo a nivel de vaca individual. El costo de la pastura se analizó teniendo en cuenta el consumo de pastura individual estimado, pero para el costo del concentrado se tomó en cuenta la oferta diaria de concentrado por animal por tratamiento y el valor de referencia comercial.

6.2.6 Medidas corporales

Durante todo el período experimental, semanalmente se registró el PV de todos los animales con una balanza digital (EC2000 scale, True test, Auckland, Nueva Zelandia), inmediatamente luego del ordeño matutino. La CC de todos los animales se evaluó quincenalmente usando una escala de cinco puntos por un mismo evaluador (Edmonson et al., 1989).

6.2.7 Análisis de composición química de alimentos:

Semanalmente se tomaron muestras de la pastura a ofrecer por encima de 5 cm del nivel del suelo. Estas muestras se conservaron congeladas (-18° C) hasta ser pre secadas en una estufa de aire forzado a 60 °C, hasta alcanzar peso constante (aproximadamente 48 horas), y luego fueron molidas a 1 mm para su posterior análisis. Semanalmente se extrajo una muestra compuesta del concentrado ofrecido, constituida por una mezcla de muestras obtenidas de los 22 suplementadores de la sala de ordeño.

En las muestras de alimentos se determinaron los contenidos de MS total (en estufa a 105 °C), el contenido de cenizas (a partir de la combustión a 600°C durante 2 horas), (AOAC, 1990; métodos 934.01, 942.05, respectivamente), el contenido de nitrógeno total (**N**) por el método Kjeldahl (método 967.03, AOAC, 1990), para luego calcular el contenido de PC [$PC=N \times 6,25$], y el contenido de extracto etéreo (**EE**) utilizando un equipo de extracción automático (Ankom XT15 NY, USA). Además, se analizó la concentración de FDN, para lo cual las muestras fueron colocadas en bolsas de poliéster (Komarek, 1993) y tratadas con solución neutro detergente en un equipo ANKOM (modelo 2000, NY, USA) de acuerdo a Senger et al., (2008), incluyendo sulfito de sodio y α -amilasa en las muestras de concentrado. Las concentraciones de FDN y FDA fueron determinadas de acuerdo a Robertson y Van Soest (1981) y los resultados fueron expresados sin cenizas residuales. También se analizaron las concentraciones de lignina (**LDA**) de acuerdo a AOAC (1990; método 973.18), N insoluble en detergente neutro y en detergente ácido (**NIDN** y **NIDA**) (Licitra et al., 1996). Se estimó la concentración de ENL de estos alimentos a partir de ecuaciones de NRC (2001), también, se calculó la concentración de carbohidratos no fibrosos (**CNF**) [$CNF=100-FDN-EE-cenizas$] y de la MO [$MO=100-cenizas$].

6.3 Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.), utilizando un modelo lineal mixto según un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas en el tiempo. El modelo incluyó como efectos fijos al tratamiento, el momento de medición (semana en el caso de las variables productivas, u hora en el caso de las variables de comportamiento y ambiente ruminal), y la interacción entre ambos, y, como efecto aleatorio se incluyó el bloque. Para las variables de producción y composición de leche, PV y CC, se incluyeron las covariables obtenidas

durante las 3 semanas iniciales del experimento, siendo su uso significativo para las variables de; % de proteína, % de lactosa, NUL, EUMS, EUE, EUN, PV y CC. La estructura de covarianza utilizada fue autoregresiva tipo 1. Se evaluó la normalidad de los residuos asociados con cada observación según el modelo estadístico descrito. Todos los datos se presentan como medias de mínimos cuadrados \pm error estándar de la media. Las medias se compararon con la prueba de Tukey usando un nivel de significancia con $P \leq 0,05$, y se discutieron los resultados a nivel de tendencia cuando $0,05 < P \leq 0,10$.

7. RESULTADOS

7.1 Comportamiento

En el Cuadro II se presentan las frecuencias relativas de cada actividad registrada durante el pastoreo de las vacas, según la estrategia de asignación del concentrado. No hubo efecto del tratamiento, o interacción del tratamiento por hora de medición, sobre las actividades ingestivas (come y rumia) ni de postura (parada y echada), pero se detectó una tendencia en la interacción entre el tratamiento y la hora de alimentación para la actividad de caminar: en el pastoreo matutino (**AM**) las vacas IND dedicaron un mayor porcentaje del tiempo disponible a caminar que las GRU ($P<0,01$), mientras que en el pastoreo vespertino (**PM**) ocurrió lo opuesto ($P=0,01$).

Todas las actividades presentaron diferencias de acuerdo a la hora de observación. Durante las primeras dos horas de pastoreo AM (0720 hasta 0920 h) y PM (1650 hasta 1850 h), las vacas se dedicaron, en su mayoría, a comer ($100\pm 0,02\%$ y $98,2\pm 0,03\%$, respectivamente), pero hacia el final de ambas sesiones este porcentaje se redujo ($P<0,01$) a su mínimo valor ($2,8\pm 0,04\%$ y $12,3\pm 0,03\%$, respectivamente). Mientras tanto, pocas vacas se encontraron rumiando al inicio de ambas sesiones de pastoreo ($<1\pm 0,02\%$ en ambos turnos), aumentando luego ($P<0,01$) hasta alcanzar sus máximos valores a las 5 h del turno AM y a las 3,5 h del turno PM ($60,1\pm 0,04$ y $70,1\pm 0,03\%$, respectivamente). Con respecto al comportamiento postural de las vacas, se registró que las mismas estuvieron casi todas paradas durante las primeras horas de ingreso a la pastura, tanto en el turno AM ($99,7\pm 0,03\%$) como PM ($96,4\pm 0,03$), mientras que el porcentaje de vacas echadas fue mayor a las 6 h de evaluación durante el pastoreo AM, y a las 3,5 h de observación en PM ($37,3\pm 0,03\%$ y $43,5\pm 0,03\%$, respectivamente), siendo mínimo el porcentaje al inicio de las secciones de pastoreo ($<1\%$ en ambos tratamientos).

Cuadro II. Comportamiento ingestivo y postural (expresado como porcentaje del total de observaciones) de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales

Item	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Hora	Trat x Hora
Alimentación						
Come	53,8	52,0	0,01	0,18	<0,01	0,93
Rumia	27,1	25,7	0,01	0,28	<0,01	0,76
Posición						
Camina	3,5	4,2	0,01	0,33	<0,01	0,06
Parada	83,6	82,3	0,02	0,58	<0,01	0,91
Echada	13,0	13,6	0,02	0,77	<0,01	0,99

¹GRU = suplementación de cada vaca en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado (n = 15); IND = suplementación de cada vaca en base a los requerimientos individuales, con cantidades variables de concentrado (n = 15); ²EEM = error estándar de la media; ³Trat = efecto del tratamiento; Hora = efecto de la hora de observación; Trat x Hora = interacción entre el efecto del tratamiento y de la hora de observación.

7.2 Consumo

En el Cuadro III se presentan los niveles de ingesta de los alimentos y de los distintos nutrientes, según la estrategia de asignación del concentrado. En general, estas variables no fueron afectadas por los tratamientos. Para el CMSc diario se registró una interacción entre el tratamiento y la semana de medición, donde para las vacas del tratamiento GRU fue estable durante todo el experimento (6,2±0,33 kg de MS), mientras que para IND presentaron una ingesta máxima en la semana 7 (6,7±0,33 kg de MS), que disminuyó (P<0,01) hasta un mínimo en la semana 10 (5,3±0,33 kg de MS), y finalmente, se mantuvo estable hasta la semana 12. En las últimas 3 semanas del experimento el CMSc tendió a ser mayor en GRU con respecto a IND (P<0,09; Figura 1).

Las variables CMSp, consumo de MS total, consumo de MO total, FDN, FDA y ENL fueron afectadas por la semana de medición. En general para ambos tratamientos, sus valores aumentaron (P<0,01) desde la semana 7 hasta alcanzar sus registros máximos durante la semana 8 (15,7±0,25 kg de pastura; 21,7±0,22 kg totales; 19,8±0,20 kg de MO; 10,7±0,12 de FDN kg; 4,3±0,06 kg de FDA; 30,84±0,66 Mcal de ENL), para luego disminuir (P<0,01) a valores mínimos en la semana 12 del experimento (12,3±0,35 kg de pastura; 18,1±0,31 kg totales; 16,5±0,28 kg de MO; 8,8±0,15 kg de FDN; 3,7±0,07 kg de FDA; 26,16±0,42 Mcal de ENL). El consumo de PC disminuyó (P<0,01) desde la semana 6 a la 7 (3,6±0,04 kg/día a 2,9±0,04 kg/día), manteniéndose luego estable hasta la semana 12.

Cuadro III. Consumo de alimentos y nutrientes de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales

Item ⁴	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Sem	Trat x Sem
Consumo de alimentos (kg MS/día)						
Pastura	13,5	14,1	0,29	0,18	<0,01	0,64
Concentrado	6,2	5,7	0,30	0,29	<0,01	<0,01
Total	19,7	19,8	0,26	0,75	<0,01	0,57
Consumo total de nutrientes						
MO, kg/día	18,0	18,1	0,24	0,79	<0,01	0,55
PC, kg/día	3,3	3,3	0,05	0,90	<0,01	0,24
FDN, kg/día	9,7	9,8	0,13	0,75	<0,01	0,70
FDA, kg/día	3,8	3,9	0,06	0,20	<0,01	0,84
ENL, Mcal/día	28,8	28,7	0,42	0,91	<0,01	0,20

¹GRU = suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado; IND = suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado; ²EEM = error estándar de las medias; ³Trat = efecto del tratamiento; Sem = efecto de la semana de muestreo; Trat x Sem = interacción entre el efecto del tratamiento y de la semana. ⁴Item: MS = materia seca; MO = materia orgánica; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácida; ENL = energía neta para lactación.

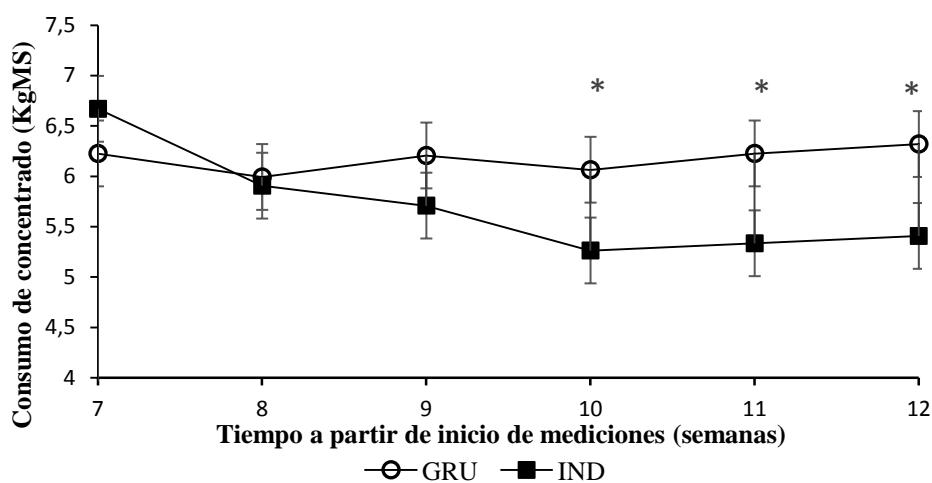


Figura 1. Consumo diario de materia seca (MS) de concentrado en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrados en base a los requerimientos grupales (GRU) e individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar (*: tendencia a diferencia entre tratamientos, $P < 0,09$).

7.3 Ambiente ruminal

Los parámetros de fermentación ruminal evaluados se presentan en el Cuadro IV. En general, no se encontraron diferencias entre tratamientos para ninguna de las variables, excepto para la concentración media de N-NH₃ ruminal, que en las vacas sometidas al tratamiento GRU fue mayor que en aquellas sometidas al tratamiento IND. Tampoco se detectó interacción entre el tratamiento y la hora de medición para ninguna de las variables, a excepción de una tendencia en el caso de la concentración de ácido butírico.

Todas las variables fueron afectadas por la hora de medición. La concentración de N-NH₃ ruminal osciló entre 4,67 y 10,16 mg/dL, y la mínima concentración se registró para ambos tratamientos a las 5,5 h (6,23 mg/dL para GRU y 3,11 mg/dL para IND), y las máximas concentraciones fueron de 10,58 mg/dL para GRU a las 14,5 h, y de 9,89 mg/dL para IND a las 22,5 h. El valor medio de pH ruminal osciló entre 6,65 y 7,05. Los mínimos valores registrados a las 14,5 h para ambos tratamientos fueron de 6,60 para GRU y de 6,72 para IND, y los máximos valores registrados a las 22,5 h para ambos tratamientos fueron de 7,07 para GRU y de 7,04 para IND. Las concentraciones medias de AGVt oscilaron entre 75,3 y 94,4 mM, las de C2 entre 50,2 y 59,8 mM, las de C3 entre 14,8 y 19,5 mM y las de C4 entre 10,4 y 15,1 mM. Las mínimas concentraciones registradas a las 8,5 h de muestreo de AGVt, C2, C3 y C4 para GRU fueron de 68,7, 45,7, 13,3, 9,7 mM y 73,0, 49,7, 13,6, 5,5 mM para IND; respectivamente, y las máximas concentraciones registradas a las 14,5 h de muestreo para GRU fueron de 84,1, 58,0, 18,8, 14,9 mM y 97,0, 61,5, 20,1, 22,5 mM para IND; respectivamente. Las relaciones de AGV tanto C2/C3 como C2+C4/C3 también presentaron efecto de la hora de muestreo, en donde sus valores mínimos se registraron a las 14,5 h de muestreo (3,09±0,08 y 3,87±0,10, respectivamente) y sus máximos se dieron a las 22,5 h (3,60±0,08 y 4,35±0,10, respectivamente).

Cuadro IV. pH, concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y concentraciones de N-NH₃ en líquido ruminal de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales

Item ⁴	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Hora	Trat x hora
pH	6,87	6,82	0,04	0,31	<0,01	0,62
AGV total (mM)	79,6	83,0	3,01	0,35	<0,01	0,13
Acético (C2)						
mM	52,0	54,7	2,05	0,27	0,03	0,18
%	65,5	66,0	0,42	0,26	<0,01	0,55
Propiónico (C3)						
mM	15,6	16,4	0,68	0,35	<0,05	0,18
%	19,5	19,6	0,34	0,84	<0,01	0,76
Butírico (C4)						
mM	12,0	12,0	0,44	0,98	<0,01	0,08
%	15,0	14,4	0,33	0,14	<0,01	0,70
Relaciones						
C2/C3	3,38	3,90	0,072	0,93	<0,01	0,75
C2+C4/C3	4,16	4,12	0,094	0,80	<0,01	0,71
N-NH₃ (mg/dL)	8,55	6,59	0,466	<0,01	<0,01	0,13

¹GRU = suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado; IND = suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado; ²EEM = error estándar de la media; ³Trat = efecto del tratamiento; Hora = efecto de la hora de muestreo; Trat x Hora = interacción entre el efecto del tratamiento y de la hora; ⁴Item = AGV total = acético + propiónico + butírico.

7.4 Producción y composición de leche

En el Cuadro V se presentan los resultados de producción y composición de leche de las vacas sometidas a las diferentes estrategias de asignación de concentrado. En general, no se encontraron diferencias entre tratamientos para estas variables, pero sí fueron afectadas por la semana de medición excepto, para el contenido de grasa láctea. Tampoco hubo interacción tratamiento por semana de medición sobre las variables medidas, excepto para los kg de proteína. Se observó que las vacas del tratamiento GRU aumentaron ($P < 0,01$) su producción de proteína entre la semana 7 y 8 ($0,83 \pm 0,04$ kg/día a $0,89 \pm 0,04$ kg/día), mientras que para IND se mantuvo constante desde la semana 7 a la 9 ($0,84 \pm 0,04$ kg/día), luego disminuyó ($P < 0,01$) en ambos tratamientos hasta la semana 12 ($0,72 \pm 0,04$ y $0,70 \pm 0,02$ kg/día, respectivamente) (Figura 2).

La producción de leche, LCG, LCS, kg de grasa y kg de lactosa presentaron sus valores máximos durante la semana 8 de evaluación ($27,8 \pm 1,56$ kg/día; $29,2 \pm 1,47$ kg/día; $26,6 \pm 1,28$ kg/día; $1,06 \pm 0,05$ kg/día; $1,32 \pm 0,08$ kg/día, respectivamente), y sus mínimos

valores en la semana 11 ($21,5 \pm 0,42$ kg/día; $22,5 \pm 0,6$ kg/día; $20,4 \pm 0,58$ kg/día; $0,81 \pm 0,03$ kg/día; $1,01 \pm 0,03$ kg/día, respectivamente). El % de proteína en leche aumentó ($P < 0,01$) desde la semana 7 hasta la semana 10 ($3,10 \pm 0,05$ vs. $3,32 \pm 0,05$ %) y posteriormente disminuyó ($P < 0,01$) hasta el final del período de evaluación ($3,19 \pm 0,04$ %). El porcentaje de lactosa registró su máximo valor en la semana 9 ($4,82 \pm 0,04$ %) y su mínimo valor en la semana 12 ($4,65 \pm 0,04$ %), mientras que para el nitrógeno ureico en leche en la semana 9 se observó el mínimo valor ($18,3 \pm 0,57$ mg/dL) y en la semana 12 el máximo ($28,9 \pm 0,57$ mg/dL).

Cuadro V. Producción de leche y composición en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales

Item ⁴	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Sem	Trat x Sem
Leche, kg/día	25,6	24,1	1,60	0,11	<0,01	0,15
LCS, kg/día	24,0	23,4	1,32	0,48	<0,01	0,12
Grasa, kg/día	0,95	0,93	0,05	0,51	<0,01	0,36
Grasa, %	3,77	3,87	0,09	0,28	0,40	0,89
Proteína, kg/día	0,79	0,77	0,04	0,64	<0,01	0,03
Proteína, %	3,19	3,18	0,05	0,19	<0,01	0,11
Lactosa, kg/día	1,20	1,15	0,08	0,32	<0,01	0,16
Lactosa, %	4,72	4,73	0,03	0,81	0,03	0,43
NUL, mg/dL	23,1	23,00	0,48	0,87	<0,01	0,48

¹GRU = suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado; IND = suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado; ²EEM = error estándar de la media; ³Trat = efecto del tratamiento; Sem = efecto de la semana de muestreo; Trat x Sem = interacción entre el efecto del tratamiento y de la semana; ⁴LCS = leche corregida por sólidos; NUL= nitrógeno ureico en leche.

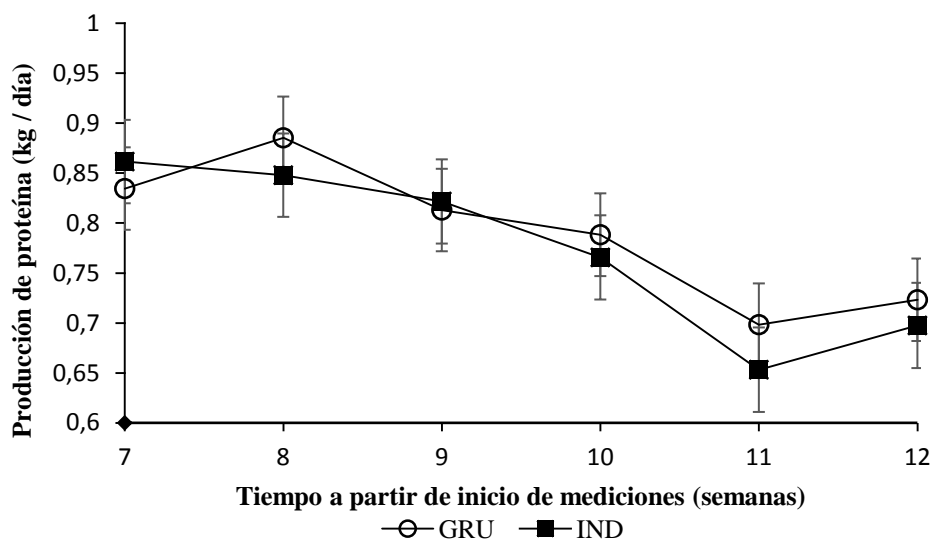


Figura 2. Producción de proteína láctea de vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales (GRU) o individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar.

7.5 Eficiencias de uso de nutrientes y margen de alimentación

En el Cuadro VI se presentan los resultados de eficiencias de uso de los nutrientes y margen de alimentación según las estrategias de asignación del concentrado. Se detectó un efecto del tratamiento sobre la EUC, donde las vacas IND consumieron 38 g menos de concentrado por kg de LCS que las GRU, pero las demás variables no fueron afectadas por los tratamientos. Se observó un efecto de la semana de medición para todas las variables de eficiencias productivas y margen de alimentación evaluadas, y, en el caso de ingreso bruto, costo del concentrado y alimentación, también se detectó una interacción entre el tratamiento y la semana de medición. Con respecto a estas últimas, el ingreso bruto para GRU aumentó ($P < 0,01$) de la semana 7 a la 8 (de $6,81 \pm 0,34$ a $7,26 \pm 0,34$ U\$\$/vaca/día); para luego disminuir ($P < 0,01$) hasta la semana 12 ($5,91 \pm 0,34$ U\$\$/vaca/día), mientras que en IND se mantuvo constante desde la semana 7 a la 9 ($6,90 \pm 0,34$ U\$\$/vaca/día; $P = 0,11$) y luego disminuyó ($P < 0,01$) hasta la semana 12 ($5,68 \pm 0,35$ U\$\$/vaca/día; Figura 3). El costo del concentrado en GRU se mantuvo estable durante el experimento, mientras que para IND fue máximo al inicio del experimento ($2,19 \pm 0,15$ U\$\$/vaca/día) y luego disminuyó ($P < 0,01$) hasta un mínimo en la semana 10 ($1,77 \pm 0,06$ U\$\$/vaca/día). En las últimas 3 semanas de mediciones el costo del concentrado tendió a ser mayor para GRU respecto de IND ($P < 0,06$ en todos los casos; Figura 3). Por otra parte, el costo de alimentación para el tratamiento GRU se mantuvo constante ($2,97 \pm 0,15$ U\$\$/vaca/día; $P = 0,47$), mientras que para IND descendió ($P < 0,01$) desde su valor máximo registrado al inicio del experimento ($3,00 \pm 0,15$ U\$\$/vaca/día) hasta la semana 11 ($2,52 \pm 0,15$ U\$\$/vaca/día), para luego mantenerse estable hasta el final del experimento ($2,55 \pm 0,15$ U\$\$/vaca/día; $P = 0,16$). El costo de alimentación tendió a ser menor para IND respecto de GRU en las últimas 3 semanas de mediciones ($P < 0,08$ en todos los casos; Figura 3).

Sobre el efecto semana detectado para la EUMS y EUE, se observó que sus valores se redujeron ($P < 0,01$) a partir de semana 7 hasta la semana 12 (de 1,30 a $1,11 \pm 0,02$ kgLCS/kgMS total consumida, y de 0,63 a $0,58 \pm 0,05$ Mcal secretada/Mcal ingerida, respectivamente), mientras que la EUN aumentó ($P < 0,01$) entre la semana 7 y la 9 (de 0,22 a $0,27 \pm 0,01$ N secretado/N ingerido), para luego disminuir ($P < 0,01$) hasta un valor de $0,20 \pm 0,01$ N secretado/N ingerido en la semana 12. Para el costo de la pastura se observó un aumento ($P < 0,01$) entre la semana 7 y 8 (de 0,81 a $0,94 \pm 0,01$ U\$\$/vaca/día), mientras que el MA se mantuvo estable en este período ($3,97 \pm 0,10$ U\$\$/vaca/día), pero luego ambas variables disminuyeron ($P < 0,01$) hasta la semana 11 ($0,74 \pm 0,02$ y $2,83 \pm 0,14$ U\$\$/vaca/día, respectivamente), y en la última semana volvieron a aumentar (hasta $0,78 \pm 0,02$ y $3,05 \pm 0,10$ U\$\$/vaca/día, , respectivamente; $P = 0,03$).

Cuadro VI. Eficiencias de uso de nutrientes, ingreso bruto, costos y margen de alimentación en vacas lecheras a pastoreo suplementadas con concentrado en base a los requerimientos grupales o individuales

Item	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Sem	Trat x Sem
Eficiencias de uso de nutrientes						
EUC⁴	273	235	12,8	0,04	<0,01	0,32
EUMS⁵	1,18	1,17	0,02	0,85	<0,01	0,16
EUE⁶	0,60	0,61	0,01	0,93	<0,01	0,35
EUN⁷	0,23	0,23	0,004	0,81	<0,01	0,15
U\$\$/vaca/día						
Ingreso Bruto	6,45	6,34	0,320	0,67	<0,01	0,04
Costo Pastura	0,82	0,86	0,026	0,15	<0,01	0,65
Costo Concentrado	2,15	1,89	0,145	0,19	<0,01	<0,01
Costo Alimentación	2,97	2,75	0,150	0,24	<0,01	<0,01
Margen Alimentación	3,44	3,58	0,194	0,37	<0,01	0,38

¹GRU = suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado; IND = suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado; ²EEM = error estándar de la media; ³Trat = efecto del tratamiento; Sem = efecto de la semana de muestreo; Trat x Sem = interacción entre el efecto del tratamiento y de la semana; ⁴ Eficiencia de uso de la MS de concentrado consumido por litro de LCS producido = g MS concentrado consumido / kg LCS; ⁵ Eficiencia de uso de la MS total consumida para producción de LCS = kg LCS / kg MS total consumida; ⁶ Eficiencia bruta de uso de la ENL total consumida para producción de leche = Mcal ENL secretada en leche / Mcal ENL total ingerida; ⁷ Eficiencia bruta de uso del N total consumido para la producción de leche = N secretado en leche / N ingerido.

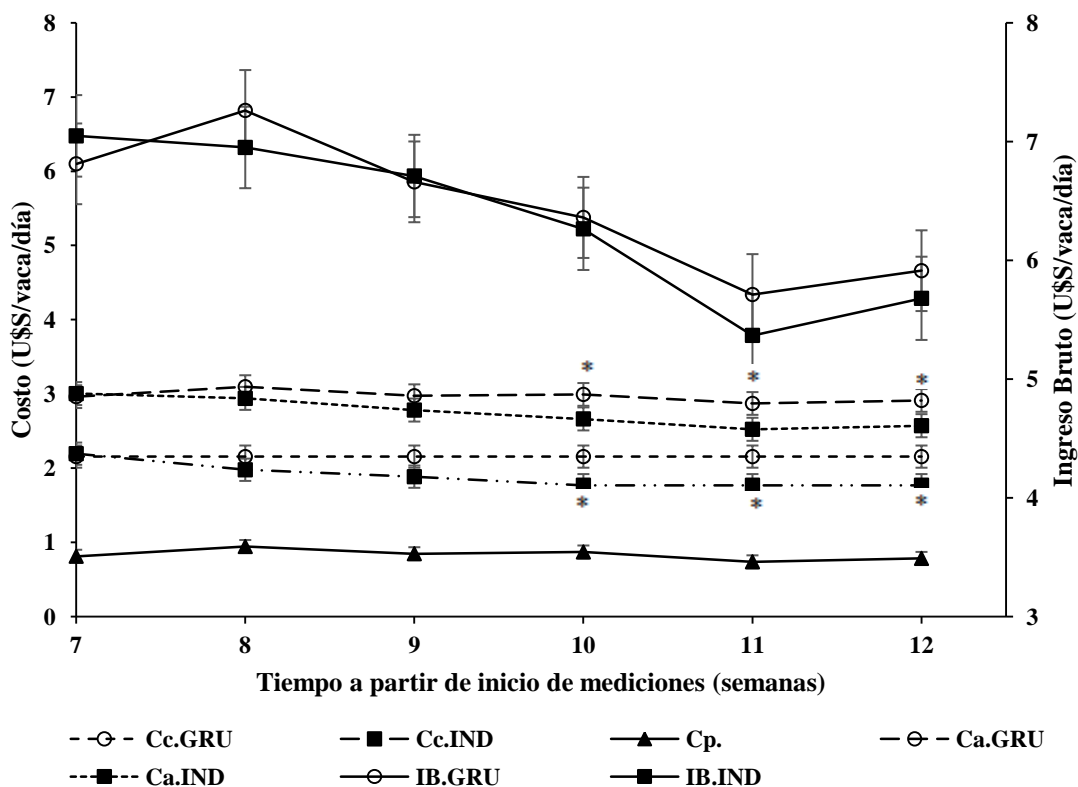


Figura 3. Ingreso bruto (IB), costo de pastura (Cp), costo de concentrado (Cc) y costo de alimentación (Ca) de vacas lecheras a pastoreo con suplementación en base a los requerimientos grupales (GRU) o individuales (IND). Los datos se presentan como media \pm error estándar (*: tendencia a diferencia entre tratamientos, $P < 0,08$).

7.6 Medidas corporales

En el Cuadro VII se presentan los resultados de medidas corporales según las estrategias de asignación del concentrado. No hubo diferencias entre los tratamientos en CC o PV, ni hubo interacción significativa entre el tratamiento y la semana de medición para estas variables. Además, no se observó un efecto de la semana para CC ($P = 0,36$), pero sí para PV ($P < 0,01$). Las vacas en las primeras dos semanas mantuvieron su PV ($603,1 \pm 2,94$ kg), pero disminuyó ($P < 0,01$) a partir de la semana 8 hasta la 11 (de 603,1 a $583,0 \pm 2,94$ kg), siendo este su mínimo valor, y finalmente aumentó ($P < 0,01$) en la semana 12 del ensayo ($598,4 \pm 2,94$ kg).

Cuadro VII. Peso vivo (PV) y condición corporal (CC) de vacas lecheras a pastoreo, suplementadas con concentrados en base a los requerimientos grupales o individualizados

Item	Tratamientos ¹		EEM ²	P ³		
	GRU	IND		Trat	Sem	Trat x Sem
PV	599,4	594,2	5,41	0,50	<0,01	0,14
CC	2,55	2,57	0,03	0,55	0,36	0,26

¹GRU = suplementación en base a los requerimientos del grupo, con cantidades fijas de concentrado; IND = suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado; ²EEM = error estándar de la media; ³Trat = efecto del tratamiento; Sem = efecto de la semana de muestreo; Trat x Sem = interacción entre el efecto del tratamiento y de la semana.

8. DISCUSIÓN

En esta tesis se evaluó la respuesta de vacas lecheras manejadas en condiciones de pastoreo a la suplementación con concentrados que se ofrecieron en función de los requerimientos de cada animal, respecto a los requerimientos del promedio del grupo. Para ello, se realizaron mediciones relacionadas con el comportamiento, el consumo de nutrientes, el ambiente ruminal, la producción y la composición de leche. Adicionalmente, se realizó una estimación del resultado económico de ambas estrategias evaluado a nivel de cada animal. En términos generales, la estrategia de suplementación con concentrados tuvo pocos efectos sobre el consumo y la producción de leche y sólidos, aunque la eficiencia bruta de uso del concentrado (el alimento más caro) fue mayor en la estrategia de suplementación individualizada.

Si bien el CMSc no difirió entre tratamientos, fue menor en IND vs GRU en las últimas semanas del experimento. Esta interacción entre tratamiento y semana de medición respondió al diseño del experimento, donde si bien en GRU las cantidades de concentrado ofrecidas se dejaron fijas durante todo el período, en IND pudieron variar acompañando los requerimientos de los animales, en acuerdo con una estrategia de tipo IND. Aunque se esperaba que, con este diseño, las vacas IND pudieran expresar todo su potencial productivo, el resultado no fue el esperado; de hecho, la disminución en el CMSc hacia el final del estudio en IND reflejaría una disminución de los requerimientos de ENL de los animales en este momento, aunque esto no estuvo directamente asociado con una declinación de la producción de los animales. Por lo tanto, con los similares resultados obtenidos de producción, CMS_t y de nutrientes, pero con un CMSc que se diferencia en las últimas semanas entre los tratamientos, se evidenciaron beneficios en la eficiencia de uso del concentrado a favor de IND.

El CMS_p no difirió entre tratamientos, y estuvo dentro del valor objetivo planificado de 14 kg MS/vaca/día. Si bien es cierto que el comportamiento de los animales solo fue evaluado durante la etapa de pastoreo diurno, este resultado de CMS_p es coincidente con la ausencia de efecto del tratamiento sobre el comportamiento ingestivo de las vacas. Este resultado también sugeriría que la tasa de consumo de las vacas no fue afectada por los tratamientos impuestos. No se encontraron antecedentes sobre los efectos de estas estrategias de alimentación sobre el comportamiento de vacas en pastoreo, a excepción del estudio de García et al. (2007), el cual fue en estabulación y pastoreo; sin embargo, los resultados fueron solo parcialmente descritos en dicho artículo. Es sabido que el consumo de concentrados ricos en carbohidratos no estructurales genera señales que determinan el cese de la sesión de pastoreo (Gregorini et al., 2008; Sheahan et al., 2013 a, b), reduciendo el tiempo que el animal dedica a pastorear (Bargo et al., 2003). Por lo tanto, dado que el CMSc fue similar entre tratamientos, es entendible que el efecto de sustitución de este sobre el CMS_p haya sido similar entre tratamientos, explicando la falta de efecto sobre esta variable. Se destaca que los valores de CMS_p son elevados (69,8% de la dieta total y 2,31% del PV) para las condiciones de Uruguay (Fariña y Chilibroste, 2019; Méndez et al.,

2020), y reflejan el potencial de consumo individual de pastura aún en situaciones donde existe un consumo importante de concentrado, si las condiciones de estructura de la pastura al ingreso son las adecuadas, como lo fueron en este experimento. Sin embargo, podría haber sido esperable que la concentración de ENL y PC de la pastura utilizada hubiese sido mayor a la obtenida ($1,33 \pm 0,06$ Mcal/kg de MS y $16,3 \pm 21,8$ g/kg de MS, respectivamente) ya que al inicio del experimento esta se encontraba en un estado vegetativo óptimo, pero con el paso de las semanas su estado fenológico fue avanzando lo que posiblemente la alta concentración de lignina ($10,1 \pm 3,0$ g/kg de MS) pudo afectar negativamente sobre el valor de ENL y además se evidenció una mayor presencia de gramíneas con respecto a leguminosas.

En la literatura, no se encontraron antecedentes de los efectos de estrategias de suplementación grupal o individualizada sobre el ambiente ruminal. Si bien podría suponerse que en vacas de alta producción en IND con una alta oferta de concentrado (8,9 kg/MS) con un alto contenido de CNF (47% de la MS) suministrada en pocos minutos del ordeño podría afectar el ambiente ruminal, particularmente a través de un aumento en la concentración de los AGV y una disminución del pH ruminal, este efecto no fue observado. Esto coincide con la falta de efecto de los tratamientos sobre el consumo total de nutrientes, que habría resultado en una similar cantidad de MO fermentable en rumen, reflejada en una similar producción de AGV. La mayor concentración media de N-NH₃ en las vacas del tratamiento GRU con respecto a IND podría deberse a que, en la semana en que se tomó la muestra de líquido ruminal, el consumo de PC tendió a ser mayor para GRU con respecto a IND (3,2 y $2,9 \pm 0,05$ kg; respectivamente, $P=0,095$) asociado al mayor consumo de MS de concentrado (6,3 y $5,2 \pm 0,46$ kg; respectivamente, $P=0,08$). A pesar de no ser esperable esta respuesta ante el uso de concentrado energético (Bargo et al., 2003), en este trabajo, el concentrado comercial utilizado tenía un aporte proteico (17,2 %) superior a los concentrados energéticos clásicos (granos de cereales y/o subproductos de molinería), lo que habría permitido aumentar la ingesta total de PC en GRU en esta semana de medición. En efecto, es conocido que existe una relación positiva entre el consumo de N y la concentración ruminal de N-NH₃ (Roffler y Satter, 1974; Pérez-Ruchel, 2006; Cajaville et al., 2006). De estos resultados surge que vacas lecheras en pastoreo podrían consumir hasta 8,9 kg MS por día de un concentrado comercial suministrada en dos turnos diarios sin generar disturbios aparentes en el ambiente ruminal, ya que los principales parámetros que lo describen, particularmente el pH, se mantuvieron dentro de los rangos que aseguran un adecuado funcionamiento de la microflora ruminal, y en particular, una óptima digestión de las fracciones fibrosas de los alimentos (Satter y Slyter, 1974; Van Soest 1994; NRC 2001).

Nuestra hipótesis fue que, en condiciones de oferta de pastura restringida, ofrecer un concentrado en base a los requerimientos energéticos individuales resultaría en una mayor producción por parte de los animales, ya que se evitaría la sub-alimentación de aquellos de mayor potencial productivo, y mejorar la eficiencia de utilización del alimento al no sobre-alimentar a vacas de bajo potencial productivo, lo cual ocurre al ofrecer concentrados en

base al requerimiento promedio. Sin embargo, este efecto sobre la producción no fue observado, lo que está en línea con la ausencia de efecto de los tratamientos sobre el consumo de nutrientes, que es uno de los principales factores en definir el nivel de producción de los animales (Kolver y Muller, 1998; Bargo et al., 2002).

Diversos trabajos previos, realizados con dieta base de forraje con cantidad no limitante, tanto en condiciones de confinamiento (Lawrence et al., 2015; Lawrence et al., 2016; Little et al., 2016; Purcell et al., 2016) como pastoreo (Delaby y Peyraud, 1997; Patton y Lawles 2013 Dale et al., 2015) tampoco reportaron ventajas de suplementar a los animales de forma individual respecto a grupal. Esta respuesta frecuente puede ser atribuida a que, en estos estudios, los animales de mayor potencial, bajo un manejo GRU, pudieron compensar el menor consumo de concentrado a través de un mayor consumo de forraje de alta calidad. En efecto, el único estudio previo que reportó una mayor producción de leche y sólidos en una estrategia IND respecto a GRU fue el de García et al. (2007), donde utilizaron vacas de lactancia temprana con una dieta base de pasturas restringida en cantidad, pero de mejor calidad que en este trabajo (22,0% PC y 1,44 Mcal de ENL), ensilaje de maíz también restringido (7,2% PC y 1,38Mcal de ENL) y un concentrado comercial principalmente energético (9,9% PC y 1,75Mcal de ENL). Si bien en el presente estudio la oferta de pastura también fue restringida, es posible que la falta de efecto de los tratamientos sobre la producción de leche se haya debido a un menor potencial de respuesta de los animales, ya que al inicio se encontraban hacia la mitad de la lactancia. Es conocido que la respuesta productiva a la suplementación disminuye a medida que avanza la lactancia (Kirkland y Gordon, 2001), lo que habría limitado la posibilidad de que las vacas IND expresaran una respuesta productiva favorable. En futuros estudios sería interesante evaluar los efectos de esta estrategia de alimentación en vacas que se encuentran en lactancia temprana.

Por otra parte, Hills et al. (2015) señalan que los eventuales beneficios productivos que se obtengan de estrategias de tipo IND en comparación con GRU dependerán de la existencia de suficiente variabilidad entre los animales. Es así como Little et al. (2016), con un rango de partos de 30 días menor con relación a nuestro trabajo, plantea que la homogeneidad en su rodeo pudo haber limitado la respuesta productiva a la suplementación de vacas de forma IND en su estudio. Si bien André et al. (2010a,b) informaron que a nivel de predios comerciales existe una variación considerable entre vacas en la respuesta en producción de leche al consumo concentrado, es posible que la misma sea menor dentro de un tambo experimental. En este sentido, las vacas seleccionadas del tambo experimental de INIA “La Estanzuela” posiblemente tuvieran menos variabilidad de la esperada a nivel comercial; por ejemplo, para Uruguay existe una gran heterogeneidad en aspectos tales como la composición racial del rodeo lechero (83,6% de HF NA o Canadiense, 6,3% de HF NZ, y un 10,1% de Jersey, Normando, cruza y otras; (INALE, 2014) o la distribución anual de partos (36% en otoño, 27% en invierno, 23% en primavera y 14% en verano; Chilbroste y Bettegazzore, 2014). Esto también pudo haber contribuido a explicar la falta de efecto de los tratamientos sobre las variables productivas, de un modo similar a lo planteado por Little et al. (2016).

Según Dale et al. (2015), un riesgo asociado al suministro de altas cantidades de concentrado a determinados animales en estrategias IND sería el aumento de la probabilidad de ocurrencia de síndrome de depresión de grasa en la leche, que está asociada frecuentemente con una alteración en el ambiente ruminal, y en particular del pH (Bauman y Griinari 2001; Bauman et al., 2008). Ante la ausencia de efecto de los tratamientos sobre la síntesis de grasa se podría decir que las estrategias de suministro de concentrado no alteraron de forma diferencial el ambiente ruminal, y que sería posible suministrar altas cantidades de este concentrado en el marco de estrategias de tipo IND sin disminuir la secreción de grasa láctea.

Con respecto a los rendimientos de grasa y proteína, la falta de efecto de los tratamientos en este trabajo es consistente con el similar consumo de nutrientes entre IND y GRU, sugiriendo que el aporte de sustratos para la glándula mamaria habría sido similar. Nuestros resultados de producción y composición de leche fueron similares a los de Delaby y Peyraud. (1997) y Dale et al. (2015), quienes usaron vacas de lactancia media a tardía al igual a este trabajo, pero con una oferta de pastura a voluntad, pero difieren de los de García et al. (2007), quienes reportaron mayores producciones de sólidos lácteos con una estrategia IND utilizando vacas lecheras de lactancia temprana con una oferta restringida de pasturas.

La variación de PV y en particular de CC es utilizada como un indicador indirecto del balance de energía de los animales (Edmonson et al., 1989). La ausencia de diferencias en PV o CC entre tratamientos es consistente con el hecho de que ni la ingesta de ENL ni la producción de leche difirieron entre tratamientos, lo que sugeriría que ambos grupos se encontraban en un nivel similar de balance energético. El resultado obtenido en el presente estudio coincide con lo reportado por Delaby y Payraud (1997) y Dale et al. (2015), quienes usaron vacas en etapa de lactancia similar al nuestro. Aunque era esperable que vacas en lactancia media podrían haber comenzado a recuperar reservas corporales, esto no se observó. Además, en la medida de que una condición corporal moderada podría limitar la respuesta productiva de vacas lecheras a una mejora en el plano de alimentación (Roche et al., 2009), sería interesante evaluar tratamientos similares a los impuestos en este trabajo en vacas con mayor condición corporal. Posiblemente para estas variables de medidas corporales sea necesario una evaluación de más largo plazo si se quiere comparar el efecto posible de estas estrategias de suplementación a pastoreo.

El hecho de que las vacas utilizaran con similares eficiencias al alimento (EUMS) y nutrientes consumidos (EUE y EUN) es consistente con que la ingesta de nutrientes y la producción de sólidos lácteos fue similar entre tratamientos. No se encontraron estudios previos que hubieran reportado estas variables con los cuales poder contrastar nuestros resultados. En el caso de la EUMS promedio obtenida para ambos tratamientos, la misma fue similar a lo reportado por Fariña y Chilbroste (2019), quienes para sistemas lecheros pastoriles de Uruguay estimaron que es de 1,22 kg de leche/kg de MS consumida. Con

respecto a la EUN, los valores se encuentran dentro del rango esperable para vacas manejadas en sistemas pastoriles, que va desde 15 a 35% (Tas et al., 2006; Gourley et al., 2012).

Sin embargo, en este experimento, se observó que las vacas IND requirieron 38 g menos de concentrado para producir un kg de LCS con respecto a GRU. Esta mayor EUC se explica porque en IND el consumo de concentrado disminuyó entre las semanas 7 y 10, acompañando la evolución de los requerimientos de cada vaca, pero no se detectó una reducción equivalente en la producción de LCS, la cual fue similar a la lograda en GRU. Los valores de EUC observados en el presente experimento fueron similares a los reportados por Aguerre y Chilibroste (2018) en un relevamiento de 28 tambos en Uruguay, quienes observaron que aquellos más eficientes usaban 250 g de concentrado por litro de leche producida. El resultado obtenido en el presente experimento debe considerarse como promisorio, habida cuenta de que el concentrado es usualmente el alimento más costoso para alimentar a vacas lecheras, y sugiere que, aun utilizando vacas luego del pico de lactancia, existe margen para obtener una mejora en la EUC con una estrategia IND combinada con una situación de restricción de pasturas. A pesar de que los costos totales por litro producido fueron levemente inferiores a los reportados por Fariña y Chilibroste (2019; 0,12 vs 0,15 U\$S/litro, respectivamente), y a que esta variable, junto al costo de concentrado, siguieron un patrón de evolución similar que el consumo de concentrado, el MA no difirió entre tratamientos. Esto resalta el rol fundamental que tiene la dieta a base de pasturas en la definición del MA, además del concentrado.

9. CONCLUSIÓN

La suplementación en base a los requerimientos individuales de cada vaca, con cantidades variables de concentrado comercial de vacas lecheras de lactancia media a pastoreo, permitió mejorar la eficiencia de utilización del concentrado por litro de leche producido corregido por sólidos, pero ello no se tradujo en un aumento de la producción de sólidos lácteos, o del margen de alimentación con respecto a suplementar en base a los requerimientos del grupo con cantidades fijas de concentrado. La suplementación de forma individualizada no modificó el comportamiento de pastoreo, el consumo, el ambiente ruminal, o la eficiencia de uso de los nutrientes.

10. IMPLICANCIAS

Este trabajo es uno de los primeros a nivel nacional e internacional en comparar estrategias de asignación del concentrado para vacas lecheras de forma individualizada en un sistema netamente pastoril con una oferta restringida de pastura, abarcando aspectos de comportamiento, ingestión, productivos, y económicos. En este trabajo se demostró que la suplementación individualizada permitiría aumentar la eficiencia en el uso del concentrado (el alimento frecuentemente más caro disponible para alimentar vacas lecheras), aun utilizando vacas con un potencial de respuesta limitado debido a la etapa de lactancia en que se encontraban, más allá de que ello no se tradujo en mejoras a nivel productivo o económico. En cualquier caso, los coeficientes técnicos generados permitirán evaluar la relación costo: beneficio bajo otras relaciones de precios de leche y concentrado, y así contribuir a evaluar la conveniencia de adoptar este tipo de estrategia de suplementación.

Por otra parte, a partir de este trabajo se podría iniciar una futura línea de investigación que permita evaluar qué sucede con estas estrategias de asignación del concentrado cuando se utilizan vacas lecheras de mayor potencial que el actual y/o cuando se utilizan rodeos heterogéneos, y en experimentos a largo plazo (es decir, durante toda la lactancia), en condiciones pastoriles. Asimismo, sería de interés evaluar nuevas variables que expliquen los resultados, como los metabolitos sanguíneos que permitan explicar mejor el estado nutricional de los animales, así como indicadores reproductivos que aún no fueron evaluados en sistemas que ofrecen pastura restringida bajo estas estrategias de suplementación. Los resultados que se generen tendrían potencial aplicación en sistemas lecheros pastoriles, tanto en sistemas de ordeño convencional como robotizado.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams R.F., Jones R.L., Conway P.L. (1984). High performance liquid chromatography of microbial acid metabolites. *J Chromatogr* 336: 125-137.
- Aguerre M., Cajarville C., Kozloski G., Repetto J. (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.
- Aguerre M., Cajarville C., La Manna A., Cavestany D., Mendoza A., Mattiauda D., Carriquiry M., Repetto J., Meikle A., Chilibroste P. (2017). Estrategias de alimentación de vacas lecheras en pastoreo: ¿Qué hemos aprendido de los sistemas comerciales y qué hemos generado desde la investigación en Uruguay? Documento de la Red Tecnológica Sectorial de Lechería - ANII. Uruguay. pp.1-30.
- Aguerre M., Chilibroste P. (2018). Análisis nutricional y manejo de la alimentación en predios lecheros: ¿Hay oportunidades de mejoras? XLVI Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú, Uruguay, pp: 137-147.
- André G., Berentsen P., Engel B., de Koning C., Oude Lansink A. (2010a). Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics. *J. Dairy Sci.*, 93:942-953.
- André G., Berentsen P., Van Duinkerken G., Engel B., Oude Lansink A. (2010b). Economic potential of individual variation in milk yield response to concentrate intake of dairy cows. *J. Agric. Sci.*, 148:263-276.
- Alexandratos N., Bruinsma J. (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 revision, *ESA Working Paper*, 12:1-153.
- A.O.A.C. (1990). Official Methods of analysis. Ed. Association of Official Analytical Chemist 15th ed., Arlington.
- Auldist M., Marett L., Greenwood J., Wright M., Hannah A., Jacobs J., Wales W. (2014). Replacing wheat with canola meal in a partial mixed ration increases the milk production of cows grazing at a restricted pasture allowance in spring. *Anim. Prod. Sci.*, 54:869-878.
- Bargo F., Muller L., Delahoy J., Cassidy T. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.*, 85:1777-1792.
- Bargo F., Muller L., Kolver E., Delahoy J. (2003). Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.*, 86:1-42.
- Bargo F., Muller L. (2005). Grazing behavior affects daily ruminal pH and NH₃ oscillations of dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.*, 88:303-309.
- Baudracco J., Lopez-Villalobos N., Holmes C., Macdonald K. (2010). A review: Effects of stocking rate , supplementation , genotype and their interactions on grazing dairy systems. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 53:109-133.
- Bauman D., Griinari J.M. (2001). A review: regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.*, 70:15–29.
- Bauman D., Perfield J., Harvatine K., Baumgard L. (2008). Regulation of fat synthesis by conjugated linoleic acid: lactation and the ruminant model. *J. Nutr.*, 138:403-409.
- Beauchemin K., Rode L. (1997). Minimum versus optimum concentrations of fiber in

dairy cow diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. *J. Dairy Sci.*, 80:1629-1639.

Blom W., Stafleu A., de Graaf C., Kok F., Schaafsma G., Hendriks H. (2005). Ghrelin response to carbohydrate- enriched breakfast is related to insulin. *Am. J. Clin. Nutr.*, 81:367-375.

Bowman J., Sanson D. (1996). Starch- or fiber based energy supplements of grazing ruminants. *Proc. West. Sect. Amer. Soc. Anim. Sci.*, 47: 118-135.

Bramley E., Lean I., Fulkerson W., Stevenson M., Rabiee A., Costa N. (2008). The definition of acidosis in dairy herds predominantly fed on pasture and concentrates. *J. Dairy Sci.*, 91:308-321.

Broster W., Broster V. (1984). Reviews of the progress of dairy science long-term effects of plane nutrition on the performance of dairy cow. *J. Dairy Res.*, 51: 149-196.

Burke C., Williams Y., Hofmann L., Kay J., Phyn C., Meier S. (2010). Effects of an acute feed restriction at the onset of the seasonal breeding period on reproductive performance and milk production in pasture-grazed dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93:1116-1125.

Cajarville C., Aguerre M., Repetto J. (2006). Rumen pH, NH₃-N concentration and forage degradation kinetics of cows grazing temperate pastures and supplemented with different sources of grain. *Anim. Res.*, 55:511-520.

Cajarville C., Mendoza A., Santana A., Repetto J., (2012). En tiempo de intensificación productiva, ¿cuánto avanzamos en el conocimiento de los nuevos sistemas de alimentación de la vaca lechera?. *Veterinaria* (Montevideo), 48:35-39.

Calsamiglia S., Cardozo P., Ferret A., Bach A. (2008). Changes in rumen microbial fermentation are due to a combined effect of type of diet and pH. *J. Anim. Sci.*. 86:702-711.

Capelesso A. (2020). Alimentación de vacas lecheras en pastoreo. Factores que impactan en la eficiencia del uso de los alimentos. Tesis de doctorado, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Chamberlain A., Wilkinson J. (1996). Feeding the dairy cow. Ed. Chalcombe publications 1^a ed., Lincoln, Estados Unidos.

Chilibroste P., Battegazzore G. (2014). Proyecto Producción Competitiva. CONAPROLE. Uruguay. 31 p.

Chilibroste P., Gibb M., Soca P., Mattiauda D. (2015). Behavioural adaptation of grazing dairy cows to changes in feeding management: do they follow a predictable pattern? *Anim. Prod. Sci.*, 55:328-338.

Clark D., Caradus J., Monaghan R., Sharp P., Thorrold B. (2007). Issues and options for future dairy farming in New Zealand. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 50(2): 203-221.

Coulon J.B., D'Hour P.D., Garel J.P., Petit M. (1994). Level and pattern of winter concentrate allocation in dairy cows: results in first lactation cows. *Anim. Prod.*, 59:11-20.

Costa A., Lopez-Villalobos N., Sneddon N., Shalloo L., Franzoi M., Da Marchi M., Penasa M. (2019). Invited review: Milk lactose-Current status and future challenges in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 102: 5883-589.

Dado R., Allen M. (1995). Intake limitations, feeding behavior, and rumen fill from dietary fiber of inert bulk. *J. Dairy Sci.*, 78:118-133.

- Dale A., McGettrick S., Gordon A., Ferris C. (2015). The effect of two contrasting concentrate allocation strategies on the performance of grazing dairy cows. *Grass For. Sci.*, 71:379-388.
- Delaby L., Peyraud J. (1997). Influence of concentrate supplementation strategy on grazing dairy cows ' performance'. *Graz. Manag.*, 29:137-138.
- Delaby L., Peyraud J.L. (1999). Influence of concentrate supplementation strategy on grazing dairy cows performance. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Calgary, Canada, pp: 1111-1112.
- Dela Rue B., Eastwood C. (2017). Individualised feeding of concentrate supplement in pasture-based dairy systems: practices and perceptions of New Zealand dairy farmers and their advisors. *Anim. Prod. Sci.*, 57:1543-1549.
- Dehkordi, A., Dehkordi, Z. (2011). Occurrence of metabolic alkalosis in rumen lactic acidosis: a review article. *Comp. Clin. Path.*, 20:1-3.
- De Vries M., Van Der Beek S., Kaal-Lansbergen L., Ouweltjes W., Wilmink J. (1999). Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82:1927-1934.
- DIEA. (2020). Anuario estadístico agropecuario 2020. Ministerio de ganadería agricultura y pesca, dirección de estadística agropecuaria, Uruguay. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>.
- Dillon P. (2006). Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. En: Fresh herbage for dairy cattle. Eds: Springer. Cork. Irlanda.
- Dillon P., Berry D., Evans R., Buckley F., Horan B. (2006). Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livest. Sci.*, 99:141-158.
- Dixon R., Stockdale C. (1999). Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.*, 50:757-773.
- Duffield T., Plaizier J., Fairfield A., Bagg R., Vessie G. (2004). Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87:59-66.
- Edmonson A., Lean I., Weaver L., Faver I. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J Dairy Sci.*, 72:68-78.
- Elgersma A., Tamminga S., Ellen G. (2006). Modifying milk composition through forage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131:207–225.
- Enemark J. (2008). The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): a review. *Vet. J.*, 176:32-43
- Fahey G., Berger L. (1988). Carbohydrate nutrition of ruminants. En: Church D. (1988) Ed. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. Prentice Hall, Englewood Cliff, pp.269-297.
- Farenzena R., Kozloski G., Mezzomo M., Fluck A. (2014). Forage degradability, rumen bacterial adherence and fibrolytic enzyme activity in vitro: effect of pH or glucose concentration. *J. Agric. Sci.*, 152:325-332.
- Fariña S., Tuñón G. (2017). Las 3 r: recorrida, rotación y remanente. *Revista INIA.*, 52:3-7.

- Fariña S.R., Chilibroste P. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agric. Syst.*, 176: 102631.
- Faverdin P. (1999). The effect of nutrients on feed intake in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 58:523-531.
- Félix A. (2013). Restricción en el tiempo de acceso al forraje fresco: efecto sobre el consumo, el comportamiento, el aprovechamiento digestivo y algunos indicadores del metabolismo energético y proteico en terneras de carne. Tesis de Maestría en Nutrición de Rumiantes, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Ferris C., Gordon F., Patterson D., Mayne C. (1999). The influence of dairy cow genetic merit on the direct and residual response to level of concentrate supplementation. *J. Agric. Sci.*, 132:467-481.
- Ferris C. (2007). Sustainable pasture-based dairy systems - meeting the challenges. *Can. J. Plant. Sci.*, 87:723-738.
- Finneran E., Crosson P., Okiely P., Shalloo L., Forristal D., Wallace M. (2012). Stochastic simulation of the cost of home-produced feeds for ruminant livestock systems. *J. Agric. Sci.*, 150:123-139.
- Fulkerson W., Wilkins J., Dobos R., Hough G., Goddard M., Davison T. (2001). Reproductive performance in Holstein-Friesian cows in relation to genetic merit and level of feeding when grazing pasture. *Anim. Sci.*, 73: 397-406.
- Fulkerson W., Davison T., García S., Hough G., Goddard M., Dobos R., Blockey M. (2008). Holstein-Friesian dairy cows under a predominantly grazing system: Interaction between genotype and environment. *J. Dairy Sci.*, 91:826-839.
- García S., Holmes C. (1999). Effects of time of calving on the productivity of pasture-based dairy systems: A review. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 42: 347-362.
- García S., Santini F., Elizalde J. (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.
- García S., Pedernera M., Fulkerson W., Horadagoda A., Nandra K. (2007). Feeding concentrates based on individual cow requirements improves the yield of milk solids in dairy cows grazing restricted pasture. *Aust. J. Exp. Agric.*, 47:502-508.
- Garrett E., Perreira M., Nordlund K., Armentano L., Goodger W., Oetzel G. (1999). Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82:1170-1178.
- Gibb M., Huckle C., Nuthall R. (2002). Effect of type of supplement offered out of parlour on grazing behaviour and performance by lactating dairy cows grazing continuously stocked grass swards. *Anim. Sci.*, 75:153-167.
- Golder H., Celi P., Rabiee A., Lean I. (2014). Effects of feed additives on rumen and blood profiles during a starch and fructose challenge. *J Dairy Sci.*, 97:985-1004.
- Gordon F. (1982). The effects of degree of chopping grass for silage and method of concentrate allocation on the performance of dairy cows. *Grass For. Sci.*, 37: 59-65.
- Gourley C., Aarons S., Powell J. (2012). Agriculture ,ecosystems and environment nitrogen use efficiency and manure management practices in contrasting dairy production systems, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 147:73-81.

- Grainger C., Mathews G. (1989). Positive relation between substitution rate and pasture allowance for cows receiving concentrates. *Aust. J. Exp. Agric.*, 29: 355-360.
- Grainger C. (1990). Effect of stage of lactation and feeding level on milk yield response by stall-fed dairy cows to change in pasture intake. *Aust. J. Exp. Agric.*, 30:495-501.
- Grala T., Lucy M., Phyn C., Sheahan A., Lee J., Roche J. (2011). Somatotrophic axis and concentrate supplementation in grazing dairy cows of genetically diverse origin. *J. Dairy Sci.*, 94:303-315.
- Gregorini P., Tamminga S., Gunter S. (2006). Review: Behavior and daily grazing patterns of cattle. *Prof. Anim. Sci.*, 22:201-209.
- Gregorini, P. Gunter S., Beck P., Soder K., Tamminga S. (2008). Review: The interaction of diurnal grazing pattern, ruminal metabolism, nutrient supply, and management in cattle. *Prof. Anim. Sci.*, 24: 308-318.
- Heublein C., Dohme-Meier F., Südekum K., Bruckmaier R., Thanner S., Schori F. (2017). Impact of cow strain and concentrate supplementation on grazing behaviour, milk yield and metabolic state of dairy cows in an organic pasture-based feeding system. *Animal*, 11:1163-1173.
- Higgs R., Sheahan A., Mandok K., Van Amburgh E., Roche J. (2013). The effect of starch-, fiber-, or sugar-based supplements on nitrogen utilization in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 96:3857-3866.
- Hills J., Wales W., Dunshea F., García S., Roche J. (2015). Invited review : An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 98:1363-1401.
- Hoffman P., Sievert S., Shaver R., Welch D., Combs D. (1993). In situ dry matter, protein, and fiber degradation perennial forages. *J. Dairy Sci.*, 76:2632-2643.
- Holmes C., Mathews P. (2001). Feeding conserved forage: implications to grassland management and production. Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Piracicaba, Brazil, 671-677.
- Horan B., Dillon P., Faverdin P., Delaby L., Buckey F., Rath M. (2005a). The interaction of strain of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed systems on milk yield, body weight, and body condition score. *J. Dairy Sci.*, 88:1231-1243.
- Horan B., Shalloo L., McCarthy S., O'Connor P., Dillon P. (2005b). The potential for profit a review of the strain comparison study. *Irish Grass. Assoc. J.*, 39:25-36.
- IDF (2013). Milk and liquid milk products – Guidelines for the application of mid infrared spectrometry. 2:1-22. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/56874.html>.
- INALE (2014). Encuesta lechera INALE 2014. Instituto Nacional de la Leche. Montevideo, Uruguay. Disponible en: <https://www.inale.org/estadisticas/encuesta-2014-razas-lecheras/>.
- Kellaway R., Harrington T. (2004). Feeding concentrates: supplements for dairy cows. Ed. Landlink Press. Melbourne, Australia.
- Kennedy J., Dillon P., Delaby L., Faverdin P., Stakelum G., Rath M. (2003). Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86:610-621.
- Kirkland R., Gordon F. (2001). The effects of stage of lactation on the partitioning of,

responses to changes in, metabolisable energy intake in lactating dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 72:213-224.

Klerkx L., Nettle R. (2013). Achievements and challenges of innovation co-production support initiatives in the Australian and Dutch dairy sectors: a comparative study. *Food Policy*, 40:74-89.

Kleen J., Uppgang L., Rehage J. (2013). Prevalence and consequences of subacute ruminal acidosis in German dairy herds. *Acta Vet. Scand.*, 55:1-6.

Kolver E., Muller, L. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.*, 81:1403-1411.

Kolver E., de Veth M. (2002). Prediction of ruminal pH from pasture-based diets. *J. Dairy Sci.*, 85:1255-1266.

Kolver E., Roche J., Burke C., Aspin P. (2005). Influence of dairy cow genotype on milk solids, body condition and reproduction response to concentrate supplementation. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.*, 65: 46-52.

Komarek A.R. (1993). A filter bag procedure for improved efficiency of fiber analysis. *J. Dairy Sci.*, 76:250.

Krause M., Otzel G. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 126:215-236.

Krysl, L., Hess. B. (1993). Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. *J. Anim. Sci.*, 71:2546-2555.

Lawrence D., O'Donovan M., Boland T., Lewis E., Kennedy E. (2015). The effect of concentrate feeding amount and feeding strategy on milk production, dry matter intake, and energy partitioning of autumn-calving Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.*, 98:338348.

Lawrence D., O'Donovan M., Boland T., Lewis E., Kennedy E. (2016). An examination of two concentrate allocation strategies which are based on the early lactation milk yield of autumn calving Holstein Friesian cows. *Animal*, 10:796-804.

Leaver J. (1988). Level and pattern of concentrate allocation to dairy cows, in *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow*. Ed Butterworths, London, Reino Unido.

Leddin, C., Stockdale C., Hills G., Heard J., Doyle P. (2010). Increasing amounts of crushed wheat fed with Persian clover herbage reduced ruminal pH and dietary fibre digestibility in lactating dairy cows. *Anim. Prod. Sci.*, 50:837-846.

Li S., Danscher A., Plaizier J. (2013). Subacute ruminal acidosis (SARA) in dairy cattle: new developments in diagnostic aspects and feeding management. *Can. J. Anim. Sci.*, 94:353-364.

Licitra G., Hernandez T., Van Soest P. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 57:347-358.

Little M., O'Connell N., Ferris C. (2016). A comparison of individual cow versus group concentrate allocation strategies on dry matter intake, milk production, tissue changes, and fertility of Holstein-Friesian cows offered a grass silage diet. *J. Dairy Sci.*, 99:4360-4373.

Lucy M. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *J. Dairy Sci.*, 84:1277-1293.

- Lucy M., Verkerk G., White B.E., Macdonald K., Burton L., Cursons R., Roche J., Holmes C. (2009). Somatotropic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances. *J. Dairy Sci.*, 92:526-539.
- Macdonald K., Verkerk G., Thorrold B., Pryce J., Penno J., McNaughton L., Burton L., Lancaster J., Williamson J., Holmes C. (2008). A comparison of three strains of Holstein-Friesian grazed on pasture and managed under different feed allowances. *J. Dairy Sci.*, 91:1693-1707.
- Macdonald K., Beca D., Penno J., Lancaster J., Roche J. (2011). Short communication: effect of stocking rate on the economics of pasture-based dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 94:2581-2586
- Macon B., Sollenberger L., Moore J., Staples C., Fike J., Portier K. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.*, 81:2357-2366.
- Maltz E., Devir S., Kroll O., Zur B., Spahr S.L., Shanks R. (1992). Comparative responses of lactating cows to total mixed rations or computerized individual concentrates feeding. *J. Dairy Sci.*, 75:1588-1603.
- Mayne C.S., Gordon F.J. (1984). The effect of type of concentrate and level of concentrate feeding on milk production. *Anim. Prod.*, 39:65-76.
- McDonalds P., Edwards, R., Greenhalgh J., Morgan C. (2006). *Nutrición Animal*. Ed. Acribia 7ª ed. Zaragoza, España.
- McCarthy S., Horan B., Rath M., Linnane M., O'Connor P., Dillon. (2007). The influence of strain of Holstein-Friesian dairy cow and pasture-based feeding system on grazing behaviour, intake and milk production. *Grass For. Sci.*, 62:13-26.
- McNamara J., Hillers J. (1986). Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation. Lipid synthesis in response to increased milk production and decreased energy intake. *J. Dairy Sci.*, 69:3032-3041.
- Meikle A., Kulcsar M., Chilliard Y., Febel H., Delavaud C., Cavestany D., Chilbroste P. (2004). Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*, 127:727-737.
- Méndez M., Chilbroste P., Aguerre M. (2020). Pasture dry matter intake per cow in intensive dairy production systems: effects of grazing and feeding management. *Animal*, 14:846-853.
- Mendoza A., Cajarville C., Repetto J. (2016). 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. (2018). Behaviour of cows fed a total mixed ration with different access time to fresh forage, *New Zeal. J. Agric. Res.*, 61:102-108.
- Mertens D. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Anim. Sci.*, 64:1548-1558.
- Mieres J., Assandri L., Cúneo M. (2004). *Guía de alimentación de rumiantes*. INIA. Serie técnica N°142. Uruguay.
- Moisey F., Leaver J. (1985). Systems of concentrate allocation for dairy cattle. A comparison of two flat-rate feeding systems at two amounts of concentrates, *Anim. Prod.*,

40:209-217.

Moore J., Brant M., Kunkle W., Hopkins D. (1999). Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *J. Anim. Sci.*, 77:122-135.

Morrison S., Patterson D. (2007). The effects of offering a range of forage and concentrate supplements on milk production and dry matter intake of grazing dairy cows. *Grass For. Sci.*, 62:332-345.

Mould F., Ørskov E., Mann S. (1983). Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10:15-30.

NRC (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press 7a ed., Washington D.C.

Mordeti A., Brogna N., Formigoni A. (2016). Review: The link between feeding dairy cows

and Parmigiano-Reggiano cheese production area. *Prof. Anim. Sci.*, 33:520-529.

O'Brien B., Patrick D., Murphy J., Mhera R., Guinee T., Connolly J., Kelly A., Joyce P. (1999). Effects of stocking density and concentrate supplementation of grazing dairy cows on milk production, composition and processing characteristics. *J. Dairy Res.*, 66:165-176.

Patton J., Lawless A. (2013). Milk production performance of autumn-calving Holstein-Friesian cows managed under flat-rate or feed-to-yield concentrate feeding systems. In: Proceedings of Agricultural Research Forum 2013, Tullamore, Ireland, Teagasc, pp.33.

Pecsok S., Mcgilliard M., James R. (1992). Estimating production benefits through simulation of group and individual feeding of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75(6): 1604-1615.

Penno J., Macdonald K., Holmes C. (2001). Toward a predictive model of supplementary feeding response from grazing dairy cows. *New Zeal. Soc. Anim. Prod.*, 61:229-233.

Penno J. (2002). The response by grazing dairy cows to supplementary feeds. Tesis de doctorado. Massey University, Palmerston North, New Zealand. 343p.

Penno J., Macdonald K., Holmes C., Davis S., Wilson G., Brookes I., Thom E. (2006). Responses to supplementation by dairy cows given low pasture allowances in different seasons. 1. Pasture intake and substitution. *Anim. Sci.*, 82:661-670.

Pérez-Ruchel A. (2006). ph, amoníaco, ácidos grasos volátiles y producción de proteína microbiana en el rumen de corderos, según el horario de corte de la pastura consumida. Tesis de Grado, Facultad de Veterinaria. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Pérez-Ruchel A. (2010). Tiempo y forma de acceso al forraje y uso de buffers o levaduras: Efecto sobre el aprovechamiento digestivo de la dieta en ovinos. Tesis de Maestría en Nutrición de Rumiantes, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Peyraud J., Delagarde R. (2013). Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal*, 7:57-67.

Plaizier, J. (2004). Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa-based total mixed rations for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 8:2495-2505.

Plaizier K., Gozho G., Krause D. (2006). Rumen acidosis in dairy cattle. XXVII Western

Nutrition Conference, 19-20 september, Manitoba, Canada.

Plaizier J., Krause D., Gozho G., McBride B. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *Vet. J.*, 176:21-31.

Pulido R., Leaver J. (2001) Quantifying the influence of sward height, concentrate level and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. *Grass For. Sci.*, 56:57-67.

Purcell P., Law R., Gordon A., McGettrick S., Ferris C. (2016). Effect of concentrate feeding method on the performance of dairy cows in early to mid lactation. *J. Dairy Sci.*, 99:2811-2824.

Radostits O., Gay C., Hinchcliff K., Constable P. (2007). *Veterinary medicine: a textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats*. Elsevier 10th ed. Philadelphia. Estados Unidos.

RAGFAR (2007). *Ruminal acidosis understandings prevention and treatment by the Reference Advisory Group on Fermentative Acidosis of Ruminants*. Australian Veterinarian Association. Ed. Blackwell Publishing Asia Pty. Victoria. Australia.

Rakes A., Davenport D. (1971). Response of dairy cows to two systems of distributing annual concentrates over the lactation cycle. *J Dairy Sci.*, 54:1300-1304.

Ramsbottom G., Horan B., Berry D., Roche J. (2015). Factors associated with the financial performance of spring-calving, pasture-based dairy farms. *J. Dairy Sci.* 98:3526-3540.

Reis R., Combs D. (2000a). Effects of corn processing and supplemental hay on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J Dairy Sci.*, 83:2529-2538.

Reis R., Combs D. (2000b). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.*, 83:2888-2898.

Reist M., Erdin D., von Euw D., Tschuemperlin K., Leuenberger H., Delavaud C., Chilliard Y., Hammon H., Kuenzi N., Blum J. (2003). Concentrate feeding strategy in lactating dairy cows: Metabolic and endocrine changes with emphasis on leptin. *J. Dairy Sci.*, 86:1690-1706.

Rigout S., Hurtaud C., Lemosquet S., Bach A., Rulquin H. (2003). Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. *J. Dairy Sci.*, 86:243-253.

Rijpkema Y., Van Reeuwijki L., Goedhart P. (1990). Effects of pattern of concentrate feeding on milk production of dairy cows offered silage ad libitum. *Nether. J. Agri. Sci.*

Rius A., Appuhamy J., Cyriac J., Kirovski D., Becvar O., Escobar J., McGilliard M., Bequette B., Akers R., Hanigan M. (2010). Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids. *J. Dairy Sci.*, 93:3114-3127.

Rius A., Appuhamy J., Cyriac J., Kirovski D., Becvar O., Escobar J., McGilliard M., Bequette B., Akers R., Hanigan M. (2010). Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids. *J. Dairy Sci.* 93:3114-3127.

Robaina A., Grainger C., Moate P., Taylor J., Stewart J. (1998). Responses to grain feeding by grazing dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric.*, 38: 541-549.

- Robertson J., Van Soest P. (1981). The detergent system of analysis and its application to human foods. In: James, W.P.T.; Theander, O. (Eds). The analysis of dietary fiber in food. Marcel Dekker, NY, USA, pp.123.
- Roche J., Berry D., Kolver E. (2006). Holstein Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89:3532-3543.
- Roche J., Sheahan A., Chagas L., Berry D. (2007). Concentrate supplementation reduces postprandial plasma ghrelin in grazing dairy cows: a possible neuroendocrine basis for reduced pasture intake in supplemented cows. *J. Dairy Sci.*, 90:1354-1363.
- Roche J., Friggens N., Kay J., Fisher M., Stafford K., Berry D. (2009). Invited review : Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare, *J. Dairy Sci.*, 92:5769-5801.
- Roche J., Kay J., Rius A., Grala T., Sheahan A., White H., Phyn C. (2013). Short communication: immediate and deferred milk production responses to concentrate supplements in cows grazing fresh pasture. *J. Dairy Sci.*, 96: 2544-2550.
- Roche J., Berry D., Bryant A., Burke C., Butler S., Dillon P., Donaghy D., Horan B., Macdonald K., Macmillan K. (2017). A 100-year review: a century of change in temperate grazing dairy systems. *J. Dairy Sci.*, 100:10189-10233.
- Roffler R., Satter L. (1974). Predicting non protein utilization by cattle. *J. Dairy. Sci.*, 58: 1880-1888.
- Rook A., Huckle C., Penning P. (1994). Effects of sward height and concentrate supplementation on the ingestive behavior of spring-calving dairy cows grazing grass-clover swards. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 40:101-112.
- Rushen J. (2008). Farm animal welfare since the Brambell report, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 113:277-278.
- Sairanen A., Khalili H., Nousiainen J.L., Ahvenjarvi S., Huhtanen P. (2005). The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *J. Dairy Sci.*, 88:1443-1453.
- Sano H., Hattori N., Todome Y., Tsuruoka J., Takahashi H., Terashima Y. (1993). Plasma insulin and glucagon responses to intravenous infusion of propionate and their autonomic control in sheep. *J. Anim. Sci.*, 71:3414-3422.
- Satter L., Slyter L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro *Br. J. Nutr.*, 32:199-208.
- Senger C., Kozloski G., Bonnacarrère S., Mesquita F., Alves T., Castagnino D. (2008). Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 146:169-174.
- Sheahan A., Kolver E., Roche J. (2011). Genetic strain and diet effects on grazing behavior, pasture intake, and milk production. *J. Dairy Sci.*, 94:3583-3591.
- Sheahan A., Boston R., Roche J. (2013 a). Diurnal patterns of grazing behavior and humoral factors in supplemented dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 96:3201-3210.
- Sheahan A., Gibbs S., Roche J. (2013 b) Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96:477-483.
- Shook G. (2006). Major advances in determining appropriate selection goals. *J. Dairy Sci.*,

89:1349-1361.

Soca P., González H., Manterola H., Bruni M., Mattiauda D., Chilibroste P., Gregorini P. (2014). Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Livest. Sci.*, 170: 35-42.

Soder K., Rotz C. (2001). Economic and environmental impact of four levels of concentrate supplementation in grazing dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 84: 2560-2572.

Soutto J., Carriquiry M., Chilibroste P., Astessiano A., Garcia-Roche M., Trujillo A. (2020). Short term feed intake regulation of dairy cows fed a total mixed ration or grazing forage oats. *Anim Prod. Sci.*, 60:1153-1162.

Stakelum G., Maher J., Rath M. (2007). Effects of daily herbage allowance and stage of lactation on the intake and performance of dairy cows in early summer. *Irish J. Agric Food Res.*, 46:47-61.

Stockdale C, Callaghan A, Trigg T (1987). Feeding high-energy supplements to pasture-fed dairy cows. Effects of stage of lactation and level of supplement. *Aust. J. Agric. Res.*, 38:927-940.

Stockdale C., Dellow D., Grainger C., Dalley D., Moate P. (1998). Supplements for dairy production in Victoria. Victoria, Natural Resources and Environment and Dairy Research and Development Corporation. Australia.

Stockdale C. (1999). The nutritive characteristics of herbage consumed by grazing dairy cows affect milk yield responses obtained from concentrate supplementation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 39:379-387.

Stockdale C. (2000a). Differences in body condition and body size affect the responses of grazing dairy cows to high-energy supplements in early lactation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40:903-911.

Stockdale C. (2000b). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40: 913-921.

Sugino T., Hasegawa Y., Kikkawa Y., Yamaura J., Yamagishi, Kurose Y., Kojima M., Kangawa K., Terashima Y. (2002). A transient surge of ghrelin secretion before feeding is modified by different feeding regimens in sheep. *Bioch. Biophys. Res Com.*, 298:785-788.

Tas B., Taweel H., Smit H., Elgersma A., Dijkstra J., Tamminga S. (2006). Effects of perennial ryegrass cultivars on milk yield and nitrogen utilization in grazing dairy cows, *J. Dairy S.*, 89:3494-3500.

Taylor W., Leaver J. (1984). Systems of concentrate allocation for dairy cattle. A comparison of two patterns of allocation for autumn-calving cows offered two qualities of grass silage ad libitum. *Anim. Prod.*, 39:325-333.

Taylor W., Leaver J. (1986). Systems of concentrate allocation for dairy cattle. A comparison of two amounts and two patterns of allocation. *Anim. Prod.*, 43:17-26.

Theurer C., Huber J., Delgado-Elorduy A., Wanderley R. (1999). Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82:1950-1959.

Thorne P., Jago J., Kolver E., Roche J.. (2003). Diet and genotype affect feeding behaviour in Holstein-Friesian dairy cows during late lactation. *New Zeal. Soc. Anim. Prod*, 63:124-127.

Tyrrell H., Reid J. (1965). Prediction of the energy value of cow's milk, *J. Dairy Sci.*,

48:1215-1223.

Tebot I., Cajaraville C., Repetto J., Cirio A. (2012). Supplementation with non-fibrous carbohydrates reduced fiber digestibility and did not improve microbial protein synthesis in sheep fed fresh forage of two nutritive values. *Animal*, 6:617-623.

Ungerfeld R., Cajaraville C., Rosas M., Repetto J. (2014). Time budget differences of high- and low-social rank grazing dairy cows. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 57:122-127.

Van Soest P. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Ed. Cornell University Press 2^a ed., New York, Estados Unidos.

Viglizzo E. (1981). Dinámica de los sistemas pastoriles de producción lechera. Ed. Hemisferio Sur 1^a ed. Buenos Aires, Argentina.

Walker G., Stockdale C., Wales W., Doyle P., Dellow D. (2001). Effect of level of grain supplementation on milk production responses of dairy cows in mid-late lactation when grazing irrigated pastures high in paspalum (*Paspalum dilatatum*). *Aust. J. Exp. Agric.*, 41:1-11.

Waller A. (2020). Análisis de metodología para el monitoreo de pasturas en predios comerciales. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.

Wathes C., Kristensen H., Aerts J., Berckmans D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Comput. Electron. Agric.*, 64:2-10.

Weatherburn M. (1967). Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.*, 39:971-974.

Yan T., Gordon F., Agnew R., Porter M., Patterson D. (1997). The metabolisable energy requirement for maintenance and the efficiency of utilisation of metabolisable energy for lactation by dairy cows offered grass silage-based diets. *Livest. Prod. Sci.*, 51:141-150.

12. ANEXOS

Requerimientos energéticos: se utilizaron las ecuaciones de NRC (2001) para la determinación de los requerimientos de ENL individuales tanto para la asignación semanal del concentrado como para la estimación del consumo de pastura por diferencia de requerimiento (Macon et al., 2003). Las ecuaciones de NRC (2001) utilizadas se encuentran en el capítulo titulado: Energy Requirements ubicado entre la página 18 y 27 donde también se describe el método para determinar la movilización y depósito de reservas corporales que fue utilizado en este trabajo.

Publicación: el manuscrito fue enviado a la revista *Animal* (The International Journal of Animal Bioscience), titulado: Concentrate supplementation according to individual or group requirements in grazing cows: effects on behavior, intake, rumen environment, milk production and efficiency. Número de manuscrito: ANIMAL-21-20763.
Autores: R. Orihuela, A. Pérez-Ruchel, A. Mendoza.

Concentrate supplementation according to individual or group requirements in grazing cows: effects on behavior, intake, rumen environment, milk production and efficiency

R. Orihuela ¹, A. Pérez-Ruchel ², A. Mendoza ^{1,†}

¹ *Programa Nacional de Producción de Leche, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Estación experimental INIA La Estanzuela, ruta 50 km 11, 39173, Colonia, Uruguay*

² *Departamento de Producción Animal y Salud de Sistemas Productivos (IPAV), Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Ruta 1 km 42.500, San José 80100, Uruguay*

Corresponding author: Alejandro Mendoza. E-mail: amendoza@inia.org.uy

Short title: Individualized supplementation of grazing dairy cows

Abstract

Concentrates are needed to fulfill the nutrient requirements of high-producing dairy cows under grazing conditions, but their higher cost results in the need to identify efficient supplementation strategies. The aim of this study was to evaluate the effect of two strategies of concentrate supplementation based on individual or average group requirements for behavior, feed intake, ruminal environment, milk production and feed efficiency in grazing dairy cows. Thirty Holstein-Friesian cows were used and assigned to one of two treatments according to a randomized complete block design over 9 weeks (3 for adaptation and 6 for measurements). Cows grazed a grass-legume pasture, and a commercial concentrate was individually offered daily in the milking parlor according to the following treatments: allocation of concentrate based on individual requirements that were adjusted weekly or allocation of concentrate based on group requirements estimated at the beginning of the experiment. Grazing behavior, feed intake, ruminal environment, milk yield and composition, and body measurements were evaluated. Allocation of concentrate based on individual requirements resulted in higher efficiency in terms of the use of concentrate DM (38 g less concentrate per kg of solids-corrected milk yield) than when based on group requirements. However, behavior, intake, ruminal and productive traits were not different between treatments, although N-NH₃ concentrations were higher for the cows with group allocation of concentrates. We conclude that allocation of concentrates based on individual requirements improved the efficiency in the use of the concentrate per kg of solids-corrected milk yield compared with group supplementation but did not increase the production of milk solids in grazing dairy cows.

Keywords: cattle, *Medicago sativa*, *Dactylis glomerata*, feed efficiency, volatile fatty acids

Implications

This study compared the response of dairy cows to different concentrate allocation strategies in a pasture-based system with a restricted forage allowance. In a scenario involving rising prices of concentrates, individualized supplementation improved the efficiency of concentrate use, even with cows past peak lactation, although it did not translate into improvements at the production level. This information will contribute to evaluating the convenience of adopting this type of supplementation strategy.

Introduction

Temperate pastures have a high nutritional value for dairy cows, but seasonal variations in forage availability and quality can limit the continuous supply of nutrients and may limit cow performance, particularly of those animals with higher productive potential (Kolver, 2003). Therefore, to meet the nutritional requirements of cows, the use of supplements such as concentrates is required. As these are usually more expensive than pastures, there is renewed interest in evaluating supplementation strategies that seek to allocate concentrates more efficiently (Dela Rue and Eastwood, 2017), given that prices of grain-based concentrates are expected to increase in the future (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Concentrates can be offered together or separately from forages and can be assigned according to different strategies. One possible strategy is for all cows to receive the same amount of concentrate to meet the average nutrient requirement of a group of cows or that of a higher percentile of milk production (Hills *et al.*, 2015). Despite its simplicity, this strategy does not consider the variability between animals and could potentially lead to underfeeding high-producing cows and overfeeding those with the lowest potential, which may decrease the efficiency of concentrate utilization (Hills *et al.*, 2015).

Alternatively, an individualized (IND) concentrate supply strategy consists of assigning a specific amount of concentrate to each cow, according to individual productive or physiological traits, such as previous (Lawrence *et al.*, 2015) or expected milk production (Dale *et al.*, 2015), or the energy balance of the cows (Maltz *et al.*, 1992). Hills *et al.* (2015) highlighted several potential theoretical benefits of IND supplementation with concentrates in terms of health, reproduction, marginal milk production and optimization in the use of the supplements in grazing dairy cows. However, previous studies have usually failed to report benefits of this supplementation strategy in terms of milk and solids production, BW and body condition score (Taylor and Leaver, 1984; Little *et al.*, 2016; Purcell *et al.*, 2016), energy balance (Lawrence *et al.*, 2015; Lawrence *et al.*, 2016) or conception rate (Purcell *et al.*, 2016) compared to supplementation strategies with concentrates allocated according to the group requirements of the herd. As high-quality pasture silage was usually offered *ad libitum* in these studies, it may have allowed animals with higher requirements to compensate for the restriction in concentrate allowance through a higher forage intake, which could explain the lack of differences. Additionally, in some studies, cows were not individually supplemented in a strict sense but in subgroups formed according to different criteria, such as previous levels of milk yield (Lawrence *et al.*, 2015; Lawrence *et al.*, 2016). Additionally, the criteria used in some studies to individually supplement dairy cows were based on information collected only

during early lactation, with no further adjustments according to changes in nutrient requirements, which could have limited the potential advantages of this strategy.

Few studies have evaluated an IND feeding strategy in grazing systems. Delaby and Peyraud (1997) and Dale *et al.* (2015), using mid-lactation grazing cows with a high forage allowance, evaluated IND or group supplementation with concentrates and did not report productive differences between both feeding strategies. However, García *et al.* (2007) reported that cows in early lactation with restricted access to pasture and corn silage produced 7% more solid yields when concentrate was allocated according to an IND strategy than based on group requirements. This could be explained because in this study, the basal forage allowance was restricted; therefore, high-producing cows in the group treatment could not compensate for the lower intake of concentrates through a higher forage intake. However, there is no information regarding the response of dairy cows offered a restricted allowance of pastures as the sole source of forage and supplemented with concentrates according to individual requirements that are adjusted weekly. Additionally, high levels of supplementation with concentrates offered in the milking parlor to high-producing cows in an IND strategy could increase the risk of ruminal acidosis, but previous studies have focused on productive traits, and there is no information regarding aspects of the rumen environment. Our hypothesis was that dairy cows grazing a restricted allowance of pasture and supplemented with concentrates according to an IND strategy will produce more milk solids and present a higher feed efficiency than those supplemented based on the average requirements of the group. The aim of this study was to evaluate the effect of the two contrasting strategies to assign concentrate on behavior, intake, ruminal environment, milk production, and feed efficiency in grazing dairy cows.

Materials and methods

Animals, diets, and experimental design

The study was carried out in spring at the dairy farm of the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) at "La Estanzuela", Colonia, Uruguay (34° 20'S, 57 ° 41'W). Thirty Holstein cows were assigned to 2 treatments according to a randomized complete block design. The animals were blocked according to parity (2.8 ± 1.4), milk production recorded at weeks 3 and 4 of lactation (36.5 ± 8.0 kg/day), days in milk (122.6 ± 74.5), BW (601 ± 67.5 kg) and body condition score [(BCS; 2.6 ± 0.10 units, using a 5-point scale according to Edmonson *et al.* (1989))] at the beginning of the experiment.

The experiment lasted 12 weeks. During the first 3 weeks, all cows received the same feeding management, consisting of one grazing session per day in a third-year mixed pasture of alfalfa (*Medicago sativa*) and orchard grass (*Dactylis glomerata*) and one session of access to a total mixed ration with a forage-concentrate ratio of 55:45, and individual milk yield and composition, BW and BCS were recorded and later used for covariate adjustment. From weeks 4 to 6, the cows were adapted to the treatments, and from weeks 7 to 12, measurements in the animals and feeds were obtained and statistically analyzed. During the adaptation and measurement periods, all cows grazed together in two

daily grazing sessions in the same pasture used during the covariate period, with a distance from the milking parlor to the paddock of 1 to 1.3 km, and were supplemented with concentrates at the milking parlor.

Two different strategies of concentrate allocation were compared: one based on group requirements (GRO) and the other based on individual requirements (IND). In the GRO treatment, the amount of concentrate offered was equal for all cows and remained fixed throughout the experiment. To calculate the amount of concentrate assigned to each cow, the average total net energy for lactation (NEL) requirements were determined with the NRC (2001), using average characteristics of the group (e.g.. milk production and composition, BW and BCS, days of lactation, parity, days of gestation) obtained during the covariate period, as well as information to estimate walking and grazing activity. To estimate the amount of NEL that was to be provided by the concentrate, the target amount of NEL provided from the pasture was subtracted from the previously calculated total NEL requirement, assuming a target intake of 14 kg of DM of pasture per cow and day and using a pasture NEL concentration calculated during the covariate period (as is later described). The target pasture DM intake is a value reported for grazing cows during spring at the dairy farm of INIA “La Estanzuela” under similar conditions as those reported in this study (Capelesso, 2020). The difference in NEL supply between the total requirements and the estimated NEL supply from the pasture was provided with a commercial concentrate, and its NEL concentration, estimated during the covariate period, was used to estimate the amount of concentrate to offer.

In the IND treatment, the amount of concentrate offered to each cow was individually adjusted throughout the study according to milk yield and composition, BW, BCS, days of lactation, parity and days of gestation of each animal recorded in the previous week, which were used to estimate the total NEL requirements (NRC, 2001). Using the same method as in GRO, the amount of concentrate to offer to each animal was calculated by subtracting the NEL supply from pasture (again considering a target pasture intake of 14 kg of DM per cow and day) from the total NEL requirements.

For both treatments, the total amount of concentrate was divided into two equal portions that were offered at each milking (0600 h and 1530 h) using automatic individual feeders (GEA Farming Systems, Düsseldorf, Germany). In IND treatment, the amount of concentrate offered at each milking was limited to a maximum of 5 kg of DM per cow to reduce the risk of digestive disorders. Calibrations of feeders were carried out weekly throughout the whole experimental period.

One month before the beginning of the experiment, the pasture was fertilized with 69 kg of N/ha as urea. Grazing management was rotational stocking with target pre- and postgrazing herbage masses of 2,500 and 1,500 kg of DM/ha, respectively. Herbage DM availability was estimated daily using a C-Dax® light sensor pasture meter (C-Dax Agricultural Solutions, Palmerston North, New Zealand) calibrated by Waller (2020) for Uruguayan conditions. Each cow was assigned 14 kg of DM of pasture above 5 cm, and

for calculations, it was assumed that cows would eat 100% of it irrespective of the treatment. The animals had *ad libitum* access to water at the milking parlor and at the pasture.

Measurements

Behavior

The behavior of each grazing cow was evaluated by visual examination using instantaneous scan sampling every 6 min (Mendoza *et al.*, 2018) during daylight grazing sessions for two consecutive days in week 10 of the study. The observations started immediately after the cows entered the grazing paddock until sunset (with a total of 218 observations per animal) and were interrupted by the afternoon milking. Two trained observers categorized the behavior as grazing (grasping, chewing and ingesting pasture), ruminating (chewing the regurgitated food bolus), standing, lying down and walking. For each hour, the relative frequency of each activity was calculated for each cow.

Nutrient intake

Between weeks 7 and 12, the individual intake of concentrate DM (cDMI) was determined weekly on two consecutive days as the difference between the amount offered and refused. Pasture DM intake (pDMI) was estimated weekly by the energy requirements difference method validated by Macoon *et al.* (2003). Briefly, the NEL ingested with the concentrate was subtracted from the total NEL requirements of each cow using the NRC (2001) and considering the individual characteristics of each animal in the corresponding week. From the total DM intake data and the chemical composition of each feed, the total intake of each nutrient was calculated.

Ruminal environment

During week 11, ruminal fluid samples (n= 6/treatment) were taken using an oro-esophageal probe (Golder *et al.*, 2014) at 5.5, 8.5, 14.5 and 22.5 hours after the morning milking, covering these measures over 4 consecutive days. After the extraction, if a sample was visibly contaminated with saliva, it was discarded, and another sample was taken. Ruminal pH was immediately recorded with a digital pH meter (Orion Research Inc., 230A, Jacksonville, USA). A subsample of 0.5 mL of ruminal fluid was conserved in 0.02 mL of H₂SO₄ (diluted 50%, v/v) and frozen at -18°C until the ammonia-N concentration (N-NH₃) was determined by colorimetry according to Weatherburn (1967) using a spectrophotometer (BEL Photonics®, S-2000, Piracicaba, Brazil). Another subsample (0.5 mL) was conserved in 0.5 mL of 1 M HClO₄ (50:50, v/v) and frozen at -18°C until volatile fatty acid (VFA) concentrations were determined (acetic, propionic and butyric acids) according to Adams *et al.* (1984) using HPLC (Dionex Ultimate® 3000, Waltham, USA) and an Acclaim Rezex Organic Acid H + column (8%), 7.8 x 300 mm and 210 nm. The VFA concentrations were expressed in absolute terms (mM) and as a percentage of the

total VFA concentration. The total VFA concentration was calculated as the sum of the concentrations of acetic, propionic and butyric acid.

Milk yield and composition and feed efficiency

The individual milk production of all cows was recorded daily throughout the experimental period using an automatic system (DairyPlan C21, GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Germany). Two composite samples per cow were obtained weekly, mixing equal parts of milk taken from two milkings for each composite sample, with a total of 4 consecutive milkings sampled, which were stored in tubes with bronopol preservative. They were analyzed for fat, protein, lactose and milk urea N by the Fourier mid-infrared spectroscopy method using FT Milk Scan equipment (Foss Electric, Hillerød, Denmark).

The yield of 3.5% fat-corrected milk (FCM) was calculated according to the equation $FCM = (0.4324 * \text{kg of milk}) + (16.218 * \text{kg of fat})$ (Tyrrell and Reid, 1965). The yield of solids-corrected milk (SCM) was calculated according to the equation: $SCM = (12.24 * \text{kg of fat}) + (7.10 * \text{kg of protein}) + (6.35 * \text{kg of lactose}) - (0, 0345 * \text{kg of milk})$ (Tyrrell and Reid, 1965).

Based on milk production and nutrient intake, the following variables were estimated:

- Efficiency of use of the concentrate for SCM production (EUC) = g of DM concentrate consumed/kg of SCM
- Efficiency of use of the total DM intake for SCM production (EUDM) = kg of SCM/kg of total DM intake
- Efficiency of NEL intake for milk production (EUE) = MJ NEL secreted in milk/MJ NEL intake
- Efficiency of use of N consumed for milk production (EUN): N secreted in milk/N intake. N secreted in milk was calculated as milk protein secretion/6.38.

Body measurements

Throughout the experimental period, the BW of each animal was recorded weekly using a digital scale (EC2000 scale, True test, Auckland, New Zealand) immediately after the morning milking. Body condition was evaluated fortnightly in all animals using a five-point scale by one trained evaluator (Edmonson *et al.*, 1989).

Chemical composition of feeds

Pasture samples, collected weekly before the cows entered the grazing strip, above 5 cm from ground level, were predried in a forced air oven at 60°C until constant weight and then ground to 1 mm for later analysis. Concentrate samples were collected weekly from a sampling of the 22 feeders in the milking room and later mixed into a composite sample. In all of these samples, DM and ash concentrations were determined (AOAC, 1990; methods: 934.01 and 942.05, respectively). The organic matter (OM) was calculated as 100 – ash.

The total N concentration was determined by the Kjeldahl method (method 967.03, AOAC, 1990), and the CP concentration was calculated as N x 6.25. The ether extract (EE) concentrations of the samples were analyzed in an automatic extraction system (Ankom XT15, Macedon, NY, USA) and the AOAC official procedure AM 5-04. The NDF and ADF concentrations were determined according to Robertson and Van Soest (1981) with an ANKOM 2000 digester (ANKOM, Macedon, NY, USA) using sodium sulfite and α -amylase in the NDF analysis. The NDF and ADF results were expressed without residual ash. The concentrations of ADL (method 973.18, AOAC, 1990), neutral-detergent insoluble N and acid-detergent insoluble N (NIDN and ADIN, respectively) (Licitra et al., 1996) of the samples were also analyzed. The concentrations of NFC and NEL were estimated using the methodology proposed by NRC (2001).

Statistical analysis

All data were analyzed using the SAS version 9.1 statistical package (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) using a mixed linear model according to a randomized complete block design with repeated measurements, which included the fixed effect of the treatment, the week, and its interaction, and the block as a random effect. Covariates obtained during the first 3 weeks of the experiment were included for the analysis of milk yield and composition and BW and BCS results. The covariance structure used was autoregressive type 1. The residuals were tested to assess normality. All data are presented as least squares means \pm SEM. The means were compared with the Tukey test using a level of significance with $P \leq 0.05$, and trends were discussed when $0.05 < P \leq 0.10$.

Results

Neither ingestive (grazing and rumination) nor posture (standing and lying down) behavior were affected by the treatments, but a trend toward an interaction between treatment and time was detected for walking (Table 2). In the am grazing session, IND cows dedicated a higher percentage of the available time to walking compared with GRO cows, but in the pm session, the opposite occurred. Total DM and nutrient intake were similar between treatments, but a significant interaction between treatment and week was detected for cDMI (Table 3). Cows in IND had a maximum cDMI at week 7 (6.7 ± 0.33 kg DM), then decreased to a minimum at week 10 (5.3 ± 0.33 kg DM) and remained stable until week 12, while the cDMI of cows in GRO did not vary among weeks. During the last 3 weeks of the experiment, GRO cows tended to have a higher cDMI than IND cows (Fig. 1).

The ruminal pH and VFA (both expressed as absolute concentrations, % of total VFA and VFA ratios) were similar between the treatments, but the mean concentration of N-NH₃ in the rumen of GRO cows was higher than that of IND cows (Table 4). The concentration of butyric acid tended to be affected by the interaction between treatment and hour of measurement, since IND presented concentrations numerically higher than GRO until 14.5 h and then reverted. There was no effect of treatment on milk production and composition, and no interaction between treatment and the week of measurement was detected for these traits, except for protein yield (Table 5). In GRO, milk protein yield increased ($P < 0.01$)

from weeks 7 to 8 and then decreased ($P<0.01$) until week 12, but in IND, it remained constant from weeks 7 to 9 and then decreased ($P<0.01$) from weeks 9 to 12 (Figure 2).

The EUC was different between treatments, where IND cows consumed 38 g less concentrate per kg of SCM than GRO cows. However, there was no treatment effect or interaction between treatment and week for EUDM, EUE and EUN.

There were no differences between GRO and IND in average BCS (2.55 and 2.57 ± 0.03 , respectively; $P=0.55$) or BW (599.4 and $594.2 \text{ kg} \pm 5.41$, respectively; $P=0.50$). There were no significant interactions between treatments and week of measurement for these traits ($P=0.26$ and 0.14 , respectively).

Discussion

In this experiment, the response of grazing dairy cows supplemented with concentrates allocated according to individual or group requirements was evaluated. The approach involved the measurement of behavioral and ruminal traits, as well as nutrient intake and productive traits. In general, the concentrate supplementation strategy had few effects on nutrient intake and yield of milk and solids, although the efficiency of use of concentrate (the most expensive feed) was higher in the IND strategy.

Although the cDMI did not differ between treatments, it was lower in IND than in GRO in the last weeks of the experiment. This interaction between treatment and measurement week was a result of the design of the experiment, where the amounts of concentrate offered in GRO were fixed throughout the period, but in IND they could vary according to the changes in animal requirements. Although it was expected that IND cows could express their full productive potential, the result was not as expected; in fact, the decrease in cDMI toward the end of the experiment in IND would reflect a decrease in the NEL requirements of the cows at this time, although this was not directly associated with a decline in the milk yield of the animals. As the result of a similar SCM yield between treatments but with a lower cDMI in the last weeks with the IND treatment, a higher efficiency of use of the concentrate was observed in this treatment group.

The pDMI did not differ between treatments and was within the planned target value of 14 kg of DM/cow and day. Although the behavior of the animals was only evaluated during the diurnal grazing sessions, this result is consistent with the lack of a treatment effect on the ingestive behavior of the cows. This result also suggests that the intake rate was not affected by the treatments. No previous studies were found that had reported the effects of similar feeding strategies on the behavior of grazing cows, with the exception of the study of García *et al.* (2007), where cows grazed for only one session and then remained indoors. It is known that the intake of concentrates rich in nonstructural carbohydrates may generate signals that determine the cessation of the grazing session, reducing the time the animal spends grazing (Bargo *et al.*, 2003). Therefore, given that cDMI was similar between treatments, it may be inferred that the substitution effect on pDMI was similar between treatments, explaining the lack of an effect on this trait. It should be mentioned that pDMI

values are high compared with those reported in commercial conditions in Uruguay (Fariña and Chilbroste, 2019; Méndez *et al.*, 2020) and reflect a high potential intake of pasture even in situations where there is a significant intake of concentrate.

No previous reports were found regarding the effects of group or individualized feeding strategies on the ruminal environment of dairy cows. Although it could be assumed that a high intake of concentrate (8.9 kg/DM per day) with a high concentration of CNFs (47% of DM) consumed in a few minutes during each milking under an IND strategy could affect the ruminal environment, particularly through an increase in the concentration of VFAs and a decrease in ruminal pH, this effect was not observed. This is consistent with the lack of effect of the treatments on the total nutrient intake, which would have resulted in a similar amount of fermentable OM in the rumen and reflected a similar concentration of VFA. The higher mean concentration of N-NH₃ in the cows of the GRO treatment with respect to IND could be explained because, in the week in which the ruminal fluid sample was taken, CP intake tended to be higher for GRO with respect to IND (3.2 and 2.9 ± 0.05 kg, respectively; P = 0.09), associated with a trend toward a higher DM intake from concentrate in that week (6.3 and 5.2 ± 0.46 kg, respectively; P = 0.08). Although this is not an expected response to the use of high-starch concentrates (Bargo *et al.*, 2003), the commercial concentrate used in the present study had a protein concentration (17.2%) higher than common energy concentrates such as cereal grains, which may have contributed to the higher CP intake in GRO during that week. Indeed, it is known that there is a positive relationship between N consumption and the ruminal concentration of N-NH₃ (Cajarville *et al.*, 2006). From these results, it appears that grazing dairy cows could consume up to 8.9 kg of DM per day of a commercial concentrate supplied in two moments without generating apparent disturbances in the ruminal environment, since the main parameters that describe it, particularly pH, remained within the ranges that ensure adequate functioning of the ruminal microbiota and optimal digestion of the fibrous fractions of the diet (Van Soest, 1994; NRC, 2001).

Our hypothesis was that under restricted pasture supply conditions, offering a concentrate based on individual energy requirements would result in higher milk production, since underfeeding of those with a greater productive potential would be avoided and would improve feed efficiency by not overfeeding cows with a lower productive potential, which may occur by allocating concentrates based on the average requirement of the group. However, this effect on milk production was not observed, which is in line with the absence of an effect of the treatments on nutrient intake, which is one of the main factors that defines the level of production that can be achieved (Kolver, 2003).

Several previous studies carried out with a basal diet consisting of a high allowance of a high-quality forage, both under confinement (Lawrence *et al.*, 2015; Lawrence *et al.*, 2016; Little *et al.*, 2016; Purcell *et al.*, 2016) or grazing conditions (Delaby and Peyraud, 1997; Dale *et al.*, 2015), also did not report advantages of supplementing the animals according to their individual requirements compared with the average requirements of the group. In these studies, this lack of response can be attributed to the fact that the animals with the

highest potential, under a GRO strategy, may have been able to compensate for the lower consumption of concentrate through higher consumption of high-quality forage. Indeed, the only previous study that reported higher milk and solids production in an IND strategy with respect to GRO was García *et al.* (2007), who used early lactation cows with a restricted allowance of high-quality pasture and corn silage and an energy-rich concentrate. Although in the present study the allowance of pasture was also restricted, it is possible that the lack of effect of the treatments on milk production was due to a lower potential response of the animals, since at the beginning of the experiment they were past peak lactation. It is known that the milk response to supplementation decreases with increasing days in milk (Kirkland and Gordon, 2001), which would have limited the possibility that IND cows expressed a positive productive response in this study. It would be interesting to evaluate the effects of this concentrate feeding strategy in early lactating grazing cows.

A risk associated with the supply of high quantities of concentrate under IND strategies would be the increase in the occurrence of milk fat depression syndrome, which is frequently associated with an alteration in the ruminal environment (Bauman and Grinari, 2001). The lack of effect of the treatments on milk fat yield is consistent with the fact that the concentrate feeding strategies did not differentially alter the ruminal environment and suggests that it would be possible to supply high amounts of similar concentrates, as used in the present study, under an IND strategy without reducing the secretion of milk fat. The lack of effect of the treatments on fat and protein yield is also consistent with the similar nutrient intake between IND and GRU, suggesting that the contribution of substrates to the mammary gland would have been similar. The results obtained with the treatments in terms of milk composition and solids yield are similar to those of Delaby and Peyraud (1997) and Dale *et al.* (2015), who used mid- to late-lactation cows but with an ample allowance of pasture, but differ from those of García *et al.* (2007), who reported a 7% higher fat and protein yield using an IND compared with a GRO strategy in early lactating cows with a restricted allowance of pasture.

The variation in BW, particularly BCS, is used as an indirect indicator of the energy balance of animals (Edmonson *et al.*, 1989). The absence of differences in these traits is consistent with the fact that neither NEL intake nor milk production differed between treatments, suggesting that both groups were at a similar level of energy balance, which is similar to the results reported by Delaby and Payraud (1997) and Dale *et al.* (2015). Although it was expected that cows in mid-lactation might have begun to regain body reserves, this was not observed in the present study, possibly because longer-term evaluations are needed to detect any effects of these supplementation strategies for these traits.

The lack of an effect of the concentrate feeding strategy on EUDM, EUE and EUN is consistent with the fact that nutrient intake and milk solid yield were similar between treatments. No previous studies have reported these traits to contrast our results. In the case of the average EUDM obtained for both treatments, it was similar to that reported by Fariña and Chilibróste (2019) for pasture-based dairy systems in Uruguay (1.22 kg of

milk/kg of DM intake). Regarding EUN, the values are within the expected range for grazing dairy cows (0.15 to 0.35; Gourley *et al.*, 2012). However, in the present study, it was observed that cows in IND required 38 g less concentrate DM per kg of SCM per day compared with GRO. This higher EUC is explained because in IND, the cDMI decreased between weeks 7 and 10, but an equivalent reduction in the production of SCM was not detected, which was similar to that achieved in GRO. The EUC values observed in the present experiment were similar to those reported by Méndez *et al.* (2020) in a survey of 28 dairy farms in Uruguay, who observed that cows that were more efficient used 250 g of concentrate DM per kg of milk. The result obtained in the present experiment should be considered promising, given that concentrates are usually the most expensive feed in the diet of dairy cows, and suggests that even when using cows past their lactation peak, there is an opportunity to improve the EUC using an IND strategy combined with a restricted pasture allowance.

Conclusions

The allocation of concentrates according to individual requirements improved the efficiency in the use of the concentrate per kg of SCM produced compared with an allocation based on group requirements, without affecting feeding behavior, nutrient intake, the ruminal environment, or the production of milk solids in grazing dairy cows.

Ethics approval

This experiment was approved by the Commission on Ethics in the Use of Animals for Research of INIA (registration number 0009/11)

Data and model availability statement

The data reported within this study are available from the corresponding author upon reasonable request

Author ORCIDs

R. Orihuela: <https://orcid.org/0000-0003-1264-3268>

A. Pérez-Ruchel: <https://orcid.org/0000-0002-4970-7918>

A. Mendoza: <https://orcid.org/0000-0002-8517-6181>

Author contributions

R. Orihuela: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing – Original Draft.

A. Pérez-Ruchel: Funding acquisition, Supervision, Investigation, Writing – Review & Editing.

A. Mendoza: Conceptualization, Funding acquisition, Project administration, Supervision, Writing – Review & Editing.

All authors read and approved the final manuscript.

Declaration of interest

None

Acknowledgments

We are grateful for the support of the staff of the dairy farm of INIA “La Estanzuela” and the staff of the Animal Nutrition and Milk Quality laboratories of INIA and IPAV

Financial support statement

The experiment was funded by INIA (PL_21_0_00)

References

- Adams RF, Jones RL and Conway PL 1984. High-performance liquid chromatography of microbial acid metabolites. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications* 336,125-137.
- Alexandratos N and Bruinsma JF 2012. *World Agriculture Towards 2030/2015: The 2012 Revision*, ESA Working Paper, 12-03, 1-153.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1990. *Official methods of analysis*, 15th edition. AOAC, Arlington, VA, USA.
- Bargo F, Muller L, Kolver E and Delahoy J 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science* 86, 1-42.
- Bauman D and Grinari JM 2001. A review: Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science* 70, 15-29.
- Cajarville C, Aguerre M and Repetto J 2006. Rumen pH, NH₃-N concentration and forage degradation kinetics of cows grazing temperate pastures and supplemented with different sources of grain. *Animal Research* 55, 511-520.
- Capelesso A 2020. Alimentación de vacas lecheras en pastoreo. Factores que impactan en la eficiencia del uso de los alimentos. PhD thesis, Veterinary College, University of the Republic, Montevideo, Uruguay.
- Dale AJ, McGettrick S, Gordon AW and Ferris CP 2015. The effect of two contrasting concentrate allocation strategies on the performance of grazing dairy cows. *Grass and Forage Science* 71, 379-388.
- Delaby L and Peyraud J 1997. Influence of concentrate supplementation strategy on grazing dairy cows' performance. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress*, 8-17 June 1997, Winnipeg, Canada, 137-138.
- Dela Rue BT and Eastwood CR 2017. Individualised feeding of concentrate supplement in pasture-based dairy systems: practices and perceptions of New Zealand dairy farmers and their advisors. *Animal Production Science* 57, 1543-1549.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T and Webster G 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72, 68-78.
- Fariña S and Chilibróste P 2019. Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems* 176, 102631.
- García SC, Pedernera M, Fulkerson WJ, Horadagoda A and Nandra K 2007. Feeding concentrates based on individual cow requirements improves the yield of milk solids in dairy cows grazing. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47, 502-508.
- Golder HM, Celi P, Rabiee AR and Lean IJ 2014. Effects of feed additives on rumen and blood profiles during a starch and fructose challenge. *Journal of Dairy Science* 97, 985-1004.
- Gourley C, Aarons S and Powell J 2012. Nitrogen use efficiency and manure management practices in contrasting dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 73-81.

- Hills JL, Wales WJ, Dunshea FR, Garcia SC and Roche JR 2015. Invited review: An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 1363-1401.
- Kirkland RM and Gordon FJ 2001. The effects of stage of lactation on the partitioning of, and responses to changes in, metabolisable energy intake in lactating dairy cows. *Livestock Production Science* 72, 213-224.
- Kolver ES 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society* 62, 291-300.
- Lawrence DC, O'Donovan M, Boland TM, Lewis E and Kennedy E 2015. The effect of concentrate feeding amount and feeding strategy on milk production, dry matter intake, and energy partitioning of autumn-calving Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science* 98, 338-348.
- Lawrence DC, O'Donovan M, Boland TM, Lewis E and Kennedy E 2016. An examination of two concentrate allocation strategies which are based on the early lactation milk yield of autumn calving Holstein Friesian cows. *Animal* 98, 796-804.
- Licitra G, Hernandez TM and Soest PJ 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57, 347-358.
- Little M, O'Connell N and Ferris C 2016. A comparison of individual cow versus group concentrate allocation strategies on dry matter intake, milk production, tissue changes, and fertility of Holstein-Friesian cows offered a grass silage diet. *Journal of Dairy Science* 99, 4360-4373.
- Macon B, Sollenberger LE, Moore JE, Staples CR, Fike JH and Portier KM 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal of Animal Science* 81, 2357-2366.
- Maltz E, Devir S, Kroll O, Zur B, Spahr SL and Shanks RD 1992. Comparative responses of lactating cows to total mixed rations or computerized individual concentrates feeding. *Journal of Dairy Science* 75, 1588-1603.
- Méndez M, Chilibruste P and Aguerre M 2020. Pasture dry matter intake per cow in intensive dairy production systems: Effects of grazing and feeding management. *Animal* 14, 846-853.
- Mendoza A, Cajarville C and Repetto JL 2018. Behavior of cows fed a total mixed ration with different access time to fresh forage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 61, 102-108.
- National Research Council (NRC) 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th revised edition. National Academic Press, Washington, DC, USA.
- Purcell PJ, Law RA, Gordon AW, Mcgettrick SA and Ferris CP 2016. Effect of concentrate feeding method on the performance of dairy cows in early to mid lactation. *Journal of Dairy Science* 99, 2811-2824.
- Robertson JB and Van Soest PJ 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: *The analysis of dietary fiber in food* (ed. WPT James, O Theander and M Dekker), pp. 123-158. Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Taylor W and Leaver JD 1984. Systems of concentrate allocation for dairy cattle. A comparison of two patterns of allocation for autumn-calving cows offered two qualities of grass silage *ad libitum*. *Animal Production* 39, 325-333.
- Tyrrell HF and Reid JT 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *Journal of Dairy Science* 48, 1215-1223.
- Van Soest P 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Ed. Cornell University Press 2^a ed., New York, Estados Unidos.

- Weatherburn MW 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry* 39, 971-974.
- Waller A 2020. Análisis de metodología para el monitoreo de pasturas en predios comerciales. MSc thesis. Agronomy College, University of the Republic, Montevideo, Uruguay.

Table 1 Chemical composition of the pastures and commercial concentrates (data are expressed as the means \pm standard deviation)

	Pasture	Commercial concentrate
DM (g/kg)	233 (15.4)	891 (0.0)
OM (g/kg DM)	899 (3.8)	932 (6.8)
NDF (g/kg DM)	492 (19.7)	265 (32.4)
ADF (g/kg DM)	237 (11.5)	101 (11.2)
ADL (g/kg DM)	101 (3.0)	45 (1.8)
CP (g/kg DM)	163 (21.8)	172 (11.9)
NFC (g/kg DM)	218 (35.1)	468 (32.8)
EE (g/kg DM)	26 (2.5)	27 (2.6)
NDIN (g/kg N)	13.6 (0.53)	4.8 (0.38)
ADIN (g/kg N)	4.5 (0.33)	3.5 (0.23)
NEL (MJ/kg DM)	5.56 (0.25)	7.24 (0.08)

OM = organic matter; NFC = nonfibrous carbohydrates; EE = ether extract; NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN = acid detergent insoluble nitrogen; NEL = net energy for lactation.

Table 2 Ingestive and postural behavior of grazing dairy cows supplemented with concentrates based on individual (IND) or group (GRO) requirements, expressed as a percentage of total observations

Behavior	Treatment		SEM	P-value		
	GRO	IND		Treatment	Hour	Treatment x Hour
Ingestive (%)						
Grazing	53.8	52.0	0.01	0.18	<0.01	0.93
Ruminating	27.1	25.7	0.01	0.28	<0.01	0.76
Postural (%)						
Walking	3.5	4.2	0.01	0.33	<0.01	0.06
Standing	83.6	82.3	0.02	0.58	<0.01	0.91
Lying	13.0	13.6	0.02	0.77	<0.01	0.99

GRO = allocation of the concentrate according to group requirements with fixed amounts during the experimental period (n = 15); IND = allocation of the concentrate according to individual requirements with variable amounts weekly during the experimental period (n = 15); Treat = effect of treatment; Time = effect of the sampling time; Treat x Time = interaction between the effect of treatment and sampling time; am = morning evaluation session (7:20 am to 2:40 pm); pm = evening evaluation session (4:50 pm to 8:20 pm).

Table 3 Dry matter and nutrient intake of grazing dairy cows supplemented with concentrates based on individual (IND) or group (GRO) requirements

Item	Treatment		SEM	P-value		
	GRO	IND		Treatment	Week	Treat x Week
Feed intake (kg of DM/day)						
pDMI	13.5	14.1	0.29	0.18	<0.01	0.64
cDMI	6.2	5.7	0.30	0.29	<0.01	<0.01
tDMI	19.7	19.8	0.26	0.75	<0.01	0.57
Nutrient intake						
OM (kg/d)	18.0	18.1	0.24	0.79	<0.01	0.55
CP (kg/d)	3.3	3.3	0.05	0.90	<0.01	0.24
NDF (kg/d)	9.7	9.8	0.13	0.75	<0.01	0.70
ADF (kg/d)	3.8	3.9	0.06	0.20	<0.01	0.84
NEL (MJ/d)	120.5	120.1	1.76	0.91	<0.01	0.20

GRO = allocation of the concentrate according to group requirements with fixed amounts during the experimental period (n = 15); IND = allocation of the concentrate according to individual requirements with variable amounts weekly during the experimental period (n = 15); SEM = standard error of the means; Treatment = effect of treatment; Week = effect of the week of measurement; Treatment x Week = interaction between the effect of treatment and week of measurement. pDMI = DM intake of pasture; cDMI = DM intake of concentrate; tDMI = Total DM intake; OM = Organic matter; NEL = Net energy for lactation.

Table 4 Ruminal pH, concentration of volatile fatty acids (VFA; expressed in mM and as a percentage of total VFA), and concentration of N-NH₃ in the ruminal fluid of grazing dairy cows supplemented with concentrates based on individual (IND) or group (GRO) requirements

Item	Treatment		SEM	P-value		
	GRO	IND		Treatment	Hour	Treatment x hour
pH	6.87	6.82	0.04	0.31	<0.01	0.62
VFA total (mM)	79.6	83.0	3.01	0.35	<0.01	0.13
Acetic (C2)						
mM	52.0	54.7	2.05	0.27	0.03	0.18
%	65.5	66.0	0.42	0.26	<0.01	0.55
Propionic (C3)						
mM	15.6	16.4	0.68	0.35	<0.05	0.18
%	19.5	19.6	0.34	0.84	<0.01	0.76
Butyric (C4)						
mM	12.0	12.0	0.44	0.98	<0.01	0.08
%	15.0	14.4	0.33	0.14	<0.01	0.70
C2/C3	3.38	3.90	0.072	0.93	<0.01	0.75
C2+C4/C3	4.16	4.12	0.094	0.80	<0.01	0.71
N-NH ₃ (mg/dL)	8.55	6.59	0.466	<0.01	<0.01	0.13

GRO = allocation of the concentrate according to group requirements with fixed amounts during the experimental period (n = 15); IND = allocation of the concentrate according to individual requirements with variable amounts weekly during the experimental period (n = 15); Treatment = effect of treatment; Hour = effect of the hour of sampling; Treatment x Hour = interaction between the effect of treatment and hour of sampling; C2 = acetic; C3 = propionic; C4 = butyric; VFA = acetic + propionic + butyric.

Table 5 Milk production, composition and efficiencies of grazing dairy cows supplemented with concentrate based on individual (IND) or group (GRO) requirements

Item	Treatments		SEM	P-value		
	GRO	IND		Treatment	Week	Treatment x Week
Milk (kg/day)	25.6	24.1	1.60	0.11	<0.01	0.15
SCM (kg/day)	24.0	23.4	1.32	0.48	<0.01	0.12
Fat (kg/day)	0.95	0.93	0.05	0.51	<0.01	0.36
Fat (%)	3.77	3.87	0.09	0.28	0.40	0.89
Protein (kg/day)	0.79	0.77	0.04	0.64	<0.01	0.03
Protein (%)	3.19	3.18	0.05	0.19	<0.01	0.11
Lactose (kg/day)	1.20	1.15	0.08	0.32	<0.01	0.16
Lactose (%)	4.72	4.73	0.03	0.81	0.03	0.43
MUN (mg/dL)	23.1	23.0	0.48	0.87	<0.01	0.48
EUC	273	235	12.8	0.04	<0.01	0.32
EUDM	1.18	1.17	0.02	0.85	<0.01	0.16
EUE	0.60	0.61	0.01	0.93	<0.01	0.35
EUN	0.234	0.233	0.004	0.81	<0.01	0.15

GRO = allocation of the concentrate according to group requirements with fixed amounts during the experimental period (n = 15); IND = allocation of the concentrate according to individual requirements with variable amounts weekly during the experimental period (n = 15); Treatment = effect of treatment; Week = effect of the sampling week; Treatment x Week = interaction between the effect of treatment and time; SCM = milk corrected for solids yield; MUN = milk urea N; EUC = efficiency of use of the concentrate for SCM production (g of DM concentrate consumed/kg of SCM); EUDM = efficiency of use of the total DM intake for SCM production (/kg of SCM/ kg of total DM intake); EUE = efficiency of NEL intake for milk production (MJ NEL secreted in milk/MJ NEL intake); EUN = efficiency of use of N consumed for milk production (N secreted in milk/N intake, N secreted in milk = milk protein/6.38).

List of figure captions

Figure 1 Dry matter intake of concentrate (cDMI) of grazing dairy cows supplemented with concentrates based on individual (IND, n=15) or group (GRO, n=15) requirements. Vertical bars indicate SEM, and the asterisks indicate a statistical trend between treatments ($P < 0.09$)

Figure 2 Milk protein yield (kg/day) of grazing dairy cows supplemented with concentrates based on individual (IND, n=15) or group (GRO, n=15) requirements. Vertical bars indicate SEM

