

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Tesis para optar por el grado académico de:

Doctora en Ciencias Agrarias

Evaluación de estrategias de alimentación durante lactancia temprana sobre la respuesta productiva inmediata y residual en vacas lecheras de alto potencial de producción

Maira Cuffia

Director: PhD Javier Baudracco

Co-Director: PhD Gerardo Antonio Gagliostro

Esperanza, Argentina 2021

INDICE

CONTENIDOS.....	v
LISTA DE TABLAS	vi
Capítulo 2	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1	1
Introducción General	1
ANTECEDENTES	2
OBJETIVO, HIPOTESIS Y DESCRIPCION GENERAL DE LA TESIS	4
ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	5
REFERENCIAS	7
CAPÍTULO 2	10
Efectos de los sistemas de alimentación sobre la performance de vacas lecheras: Revisión bibliográfica.....	10
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN.....	12
REVISIÓN Y DISCUSIÓN	12
Principales sistemas de alimentación utilizados en vacas lecheras	12
Comparación de sistemas de base pastoril con sistemas TMR	13
Comparación de sistemas pastoriles con suplementación y sistemas TMR.....	15
Comparación de sistemas de ración parcialmente mezclada y sistemas TMR.....	16
Comparación de sistemas de alimentación de componentes separados y sistemas TMR....	19
Relación entre consumo de materia seca y producción de leche con diferentes sistemas de alimentación.....	20
CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	27
CAPÍTULO 3	33
Un sistema de alimentación simplificado no afectó la producción de leche comparado con un sistema de ración totalmente mezclada en vacas lecheras.....	33
RESUMEN	34
INTRODUCCIÓN.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
Diseño experimental, animales y tratamientos	36
Muestreo de alimentos y análisis químico.....	38
Mediciones del consumo de materia seca de los alimentos	39
Comportamiento animal	40
Producción de leche y análisis de composición química de la leche.....	40
Peso corporal, score de condición corporal y metabolitos plasmáticos	41
Análisis estadístico	42
RESULTADOS Y DICUSIÓN	43
Datos meteorológicos	43
Consumo de materia seca de los alimentos y consumo de nutrientes.	43
Comportamiento animal	46
Producción de leche y composición química de la leche	49
Peso vivo, score de condición corporal y metabolitos plasmáticos.....	50

CONCLUSIONES.....	51
REFERENCIA	53
CAPÍTULO 4	57
Modelación de curvas de lactancia para vacas Holstein bajo diferentes sistemas de alimentación.....	57
RESUMEN	58
INTRODUCCIÓN.....	59
MATERIALES Y METODOS.....	60
Fuente de información	60
Sistemas de alimentación evaluados.....	60
Registros productivos	61
Predicción de la curva de lactancia.....	61
Selección del mejor modelo de predicción.....	62
Evaluación del ajuste del modelo de predicción seleccionado.....	62
Predicción de las curvas de lactancia para diferentes sistemas de alimentación.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
Selección del modelo de predicción de curvas de lactancia.....	63
Evaluación del ajuste del modelo de polinomios	63
Predicción de curvas de lactancia en dos sistemas de alimentación.....	65
Comparación de los sistemas de alimentación	65
CONCLUSIONES.....	67
REFERENCIA	68
CAPÍTULO 5	71
Evaluación productiva, económica y análisis de riesgo de sistemas lecheros con alimentación totalmente mezclada y con un sistema simplificado de alimentación	71
RESUMEN	72
INTRODUCCIÓN.....	73
MATERIALES Y METODOS.....	74
Sistemas de alimentación.....	74
Datos utilizados en la modelación de sistemas.....	75
Modelo e-Dairy	75
Supuestos productivos	76
Superficie y carga animal	76
Animales y composición de la leche	77
Rendimiento de los cultivos y calidad de los alimentos.....	77
Supuestos económicos.....	77
Ingresos por venta de leche	77
Ingresos por venta de carne	78
Costos de alimentación.....	78
Mano de obra y gastos del rodeo	79
Costos indirectos y alquiler de la tierra	79
Cálculo del resultado económico y de la rentabilidad.....	80
Capital invertido	80
Simulaciones determinísticas y estocásticas	80
RESULTADOS Y DISCUSION	81
Simulaciones determinísticas	81
Rendimiento de leche y sólidos en la leche.....	81
Consumo de materia seca	82

Resultados económicos	82
Simulaciones estocásticas: análisis de riesgo	83
CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	88
CAPÍTULO 6	91
Discusión general y conclusiones.....	91
INTRODUCCION	92
CONTRIBUCIONES GENERALES DE LA TESIS.....	93
Capítulo 2: Revisión bibliográfica.....	93
Capítulo 3: Estudio experimental	94
Capítulo 4: Estudio de modelación para curvas de lactancia	95
Capítulo 5: Estudio de simulación del sistema lechero completo	95
LIMITACIONES DE LA TESIS Y FUTURAS INVESTIGACIONES.....	96
CONCLUSIONES GENERALES	98
REFERENCIAS	100
AGRADECIMIENTOS.....	101

CONTENIDOS

- Capítulo 1** Introducción general
- Capítulo 2** Efecto de los sistemas de alimentación sobre la performance de vacas lecheras: Revisión bibliográfica
- Capítulo 3** Un sistema de alimentación simplificado no afectó la producción de leche comparado con un sistema de ración totalmente mezclada en vacas lecheras
- Capítulo 4** Modelación de curvas de lactancia para vacas Holstein bajo diferentes sistemas de alimentación
- Capítulo 5** Evaluación productiva, económica y análisis de riesgo de sistemas lecheros con alimentación totalmente mezclada y con un sistema simplificado de alimentación
- Capítulo 6** Discusión general y conclusiones

LISTA DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 1. Consumo de materia seca (CMS) total (kg MS/ vaca/día), producción de leche (kg leche/vaca/día), grasa butirosa (GB, kg GB/vaca/día) y proteína bruta (PB, kg PB/vaca/día) en leche, peso vivo (PV, kg) y condición corporal (CC, escala 1 a 5) de vacas lecheras en diferentes sistemas de alimentación **22**

Capítulo 3

Tabla 1. Composición nutricional de los ingredientes y de la ración totalmente mezclada (TMR), medias con desvío estándar entre paréntesis y el número de observaciones (*n*). **39**

Tabla 2. Consumo de materias seca (CMS) y consumo de nutrientes en vacas lecheras en una ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (*n*). **45**

Tabla 3. Comportamiento animal en vacas lecheras en dos sistemas de alimentación: sistemas de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (FE), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (*n*)..... **48**

Tabla 4. Producción y composición de la leche en vacas lecheras en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (*n*) **50**

Tabla 5. Cambios en el peso vivo (PV) y la puntuación de la condición corporal (SCC) y metabolitos plasmáticos de vacas lecheras en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (*n*) **51**

Capítulo 4

Tabla 1. Valor medio y error estándar (EE) de los coeficientes de regresión de la curva de lactancia para rendimiento de leche, grasa (GB) y proteína (PB) utilizando el modelo de polinomios para vacas lecheras alimentadas con dos sistemas de alimentación: simplificada (EF) y ración totalmente mezclada (TMR)..... **65**

Tabla 2. Rendimiento acumulado de leche, grasa bruta (GB) y proteína bruta (PB) utilizando el modelo de polinomios para vacas lecheras alimentadas con dos sistemas: alimentación simplificados (EF) y ración totalmente mezclada (TMR) para el periodo experimental (1 a 80 días), residual (81 a 305 días) y la lactancia completa (1 a 305 días), error estándar de la diferencia (EED) **67**

Capítulo 5

Tabla 1. Resultados productivos y económicos anuales (\$) de las simulaciones determinísticas para dos sistemas de alimentación: sistema simplificado (EF) y sistema de ración totalmente mezclada (TMR)..... **83**

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1. Relación entre el consumo de materia seca total (CMS; kg MS/vaca/día) y la producción de leche (kg leche/vaca/día) en vacas lecheras alimentadas en diferentes sistemas de alimentación. **21**

Capítulo 3

Figura 1. Eventos de comportamiento animal como una proporción del total de observaciones por hora para vacas alimentadas con un sistema TMR (●) o EF (○). **48**

Capítulo 4

Figura 1. Curva de la lactancia promedio para el rendimiento diario de leche predicho por el modelo de polinomios (línea punteada) y el rendimiento actual (línea continua) en vacas lecheras alimentadas con una ración totalmente mezclada (TMR) y sistemas de alimentación simplificada (EF) durante una lactancia completa (305 días). **65**

Capítulo 5

Figura 1. Desglose de los principales rubros que componen el costo de suministro: gasto operativo, mano de obra, amortizaciones e intereses calculado mediante software Sumicost (Centeno y Rambeaud, 2013). **79**

Figura 2. Resultado económico expresado en \$/ha/año para los dos sistemas de alimentación estudiados, con variaciones del mercado (precio de leche y precio de concentrado) y variaciones de clima (rendimientos de pasturas y cultivos). El círculo en el centro de la barra indica el resultado promedio del sistema y la longitud de la barra indica el rango en el que se observan los resultados económicos de las 10.000 simulaciones. Los valores están expresados en dólares estadounidenses (\$). **85**

Figura 3. Resultado económico expresado en \$/ha/año para los dos sistemas de alimentación estudiados. El precio de la leche y el precio del concentrado se comportaron estocásticamente. Los valores están expresados en dólares estadounidenses (\$). **86**

LISTA DE ABREVIATURAS

AIC	Akaike
BHB	β Hydroxibutirato
CCC	Coefficiente de correlación de concordancia
CCS	Conteo de células somáticas
CMS	Consumo de materia seca
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CS	Componente separado
DE	Desvío estándar
DEL	Días en lactancia
EE	Extracto etéreo
EED	Error estándar de la diferencia
EF	Easy feeding, por sus siglas en inglés, alimentación fácil
EN _l	Energía neta para lactancia
F:C	Proporción forraje: concentrado
FDA	Fibra detergente acida
FDN	Fibra detergente neutra
GB	Grasa butirosa
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
LCE	Leche corregida por energía
LDA	Lignina detergente acida
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
MSPE	Mean square prediction error, por sus siglas en inglés, error de predicción medio cuadrado
PB	Proteína bruta
PC	Proteína cruda
PMR	Partial mixed ration, por su sigla en inglés, ración parcialmente mezclada
PV	Peso vivo
RPE	Relative prediction error, por sus siglas en inglés, error de predicción relativo
SCC	Score de condición corporal
TMR	Total mixed ration, por sus siglas en inglés, ración totalmente mezclada
VT	Vacas totales
\$	Dólar americano

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar la respuesta productiva y económica de sistemas de producción de leche con vacas alimentadas en un sistema simplificado (EF, easy feeding) y vacas alimentadas en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration) en la lactancia temprana.

Esta investigación involucró un estudio experimental, un estudio de modelación y un estudio de simulación. El estudio experimental comparó a campo la performance de ambos sistemas de alimentación, de vacas Holstein de alta producción en la lactancia temprana. El tratamiento TMR consistió en una mezcla de concentrados, silo de maíz y heno de alfalfa, mientras que el tratamiento EF incluyó los mismos componentes de la dieta ofrecidos por separado, con el concentrado ofrecido individualmente en la sala de ordeño, el heno de alfalfa ofrecido en rollos y el silo de maíz ofrecido directamente de la bolsa. Con los resultados productivos obtenidos experimentalmente se realizó la modelación de curvas de lactancias completas. Por último, se realizó un estudio de simulación que evaluó el resultado económico y el riesgo de sistemas lecheros completos bajo ambos sistemas de alimentación.

El sistema EF tuvo similar performance animal que el sistema TMR en el experimento a campo y las curvas de lactancias completas también fueron similares en ambos sistemas. En la simulación del sistema completo, el sistema EF presentó valores superiores en resultado económico y rentabilidad que el sistema TMR, debido a que el sistema EF requiere un menor capital de inversión y costos asociados a las actividades de alimentación.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to evaluate the productive and economic responses of milk production systems with cows fed simplified feeding system, named easy feeding (EF) and cows fed total mixed ration (TMR) system, during early lactation.

This research involved an experimental, a modeling and a simulation studies. The experimental study compared animal performance of an EF feeding system with animal performance of a TMR feeding system, using high yielding Holstein cows in early lactation. The TMR treatment consisted of a mix of concentrates, corn silage and alfalfa hay, mixed and offered twice a day, while EF treatment involved the same diet components offered separately, with concentrate offered individually in the milking parlor, alfalfa hay offered as bales and corn silage offered straight from the silo bag. The productive results obtained experimentally was used for modeling study of lactation curves. Finally, the simulation study evaluated the economic results and the risk of complete dairy systems in both feeding systems.

The EF system had similar animal performance than the TMR system on experimental study and the lactation curves modeled were also similar in both feeding systems. In the simulation study, the EF system presented high economic result and profitability than TMR system, because the EF system requires a minimum investment capital and less costs associated with feeding activities.

CAPÍTULO 1

Introducción General

ANTECEDENTES

Los sistemas de alimentación juegan un rol importante en la performance animal, en los costos de alimentación y en la rentabilidad económica del sistema de producción de leche (Alqaisi et al., 2019).

En los últimos años, la producción de leche viene experimentando un proceso de concentración e intensificación a nivel mundial (Gagliostro et al., 2018). La intensificación en los sistemas de producción lechera en Argentina se dio por un incremento en el número de vacas por unidad de superficie y por un incremento en la productividad por vaca (Lazzarini et al., 2019). El aumento en la producción por vaca, estuvo acompañado por un importante cambio en la composición de la dieta animal y el manejo de la alimentación.

Entre el año 2001 y 2019, la composición media de la dieta de las vacas lecheras en Argentina pasó de un 66% a un 46% de pasturas y de un 34% a un 54% de alimentos concentrados y reservas forrajeras (Gastaldi et al., 2018; Gastaldi et al., 2020).

Estos cambios en la composición de la dieta animal incrementaron el costo de la alimentación, el cual es el principal costo de la producción de leche a nivel mundial (FAO and IFCN, 2014). El costo de alimentación está constituido por el costo del alimento en sí y por los costos asociados a las actividades de alimentación, es decir, el suministro de los alimentos (Pezzuolo et al., 2016).

Estudios recientes informaron que cuando se utilizan sistemas de alimentación ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por sus siglas en inglés), los costos de operación varían entre \$ 0,18 y 0,21 por vaca por día, sin contabilizar el costo asociado a la inversión de capital y mantenimiento (Pezzuolo et al., 2016; Tangorra y Calcante, 2018). Para otros sistemas, como los sistemas de ración parcialmente mezcladas (PMR, partial mixed ration, por sus siglas en inglés) se ha reportado un costo de \$ 0.051 por kg de materia seca para la distribución del silaje y heno en un mixer, contabilizando la mano de obra, combustible, depreciación de la maquinaria y mantenimiento (Lazzarini et al., 2018).

Por lo tanto, resulta importante conocer los costos de alimentación asociados a los distintos sistemas de alimentación, para realizar un análisis completo de la conveniencia de un sistema u otro en determinadas condiciones económicas (Beever and Doyle,

2007) y mejorar la rentabilidad en los sistemas de producción de leche (FAO and IFCN, 2014).

En Argentina se relevó que el 16% de los establecimientos lecheros tienen sistemas con vacas en confinamiento y suministran la dieta con una TMR, mientras que el 84% de los establecimientos lecheros utilizan sistemas pastoriles con suplementación y suministran los alimentos de forma separada (Baudracco et al., 2014).

Los sistemas de alimentación TMR son ampliamente utilizados en los sistemas de producción de leche con vacas en confinamiento. El TMR ofrece a la vaca un suministro equilibrado de nutrientes a lo largo del día (Schingoethe, 2017), lo cual asegura una fermentación constante en el rumen (Fan et al., 2002) y puede mejorar la producción de leche (Schingoethe, 2017). Sin embargo, el sistema TMR requiere altas inversiones en maquinaria, además de mayores costos operativos relacionados con la alimentación (combustible y reparaciones) y mano de obra (Ferris et al., 2006).

Algunos productores lecheros, con el objetivo de realizar menores inversiones y reducir los costos operativos de alimentación, implementaron un sistema de alimentación simplificado, denominado alimentación fácil (EF, easy feeding, por sus siglas en inglés) en este trabajo. El sistema EF, desarrollado por productores, consiste en suministrar los componentes de la dieta por separado sin utilizar maquinaria en el proceso de alimentación. De esta manera, el silaje se ofrece directamente desde la bolsa del silo a través de orificios a ambos lados de la bolsa, el heno directamente desde los rollos y el alimento concentrado en la sala de ordeño. El sistema EF elimina el uso de maquinaria especializada para extraer, mezclar, y suministrar los alimentos, lo cual reduce la demanda de mano de obra y el uso de combustible para las actividades de alimentación.

Por otra parte, se ha reportado que suministrar los alimentos concentrados por separado del forraje se asocia con un mayor riesgo de desórdenes metabólicos en las vacas lecheras en la lactancia temprana (Maekawa et al., 2002). Sin embargo, ofrecer los componentes de la dieta por separado y para un consumo *ad libitum*, permite a los animales seleccionar los alimentos de acuerdo a sus necesidades (Forbes et al. 2007), y la vaca determina su dieta final.

Debido a que este sistema EF se desarrolló en la práctica por los productores, no ha tenido una validación científica de sus efectos sobre la producción de leche y los resultados económicos. Por ello, se presenta la oportunidad de evaluar el sistema EF, comparándolo con el sistema TMR en la presente tesis.

OBJETIVO, HIPOTESIS Y DESCRIPCION GENERAL DE LA TESIS

El **objetivo general** de esta tesis fue evaluar la respuesta productiva y económica de sistemas de producción de leche con vacas alimentadas en un sistema simplificado y vacas alimentadas en un sistema tradicional de ración totalmente mezclada, utilizando vacas Holstein de alta producción. La **hipótesis** de este trabajo es que un sistema de alimentación simplificado permitiría a las vacas tener similar performance animal y al sistema mayor rentabilidad económica que sistemas con ración totalmente mezclada.

Los **objetivos específicos** fueron: i) Revisar publicaciones nacionales e internacionales sobre los sistemas de alimentación que se utilizan en la producción lechera, incluyendo los aspectos productivos. ii) Investigar y comparar, a través de un estudio experimental, la performance de vacas alimentadas en un sistema simplificado con la performance de vacas alimentadas en un sistema de ración totalmente mezclada utilizando vacas Holstein en la lactancia temprana. iii) Realizar la modelación de las curvas de lactancia para vacas alimentadas con sistemas de alimentación simplificados y de ración totalmente mezclada. iv) Evaluar el resultado económico y el riesgo económico de sistemas lecheros completos con alimentación simplificada y con ración totalmente mezclada.

Esta tesis representa el primer trabajo que investiga los resultados productivos y económicos de un sistema de alimentación simplificado en comparación a un sistema de ración totalmente mezclada en vacas lecheras de alto potencial de producción. Se espera que este trabajo aporte conocimiento científico publicado en revistas científicas indexadas y también aporte información a los productores lecheros interesados en analizar la conveniencia de diferentes sistemas de alimentación.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente capítulo, **Capítulo 1**, presenta la introducción general de este trabajo describiendo los antecedentes del tema de investigación, los objetivos, la hipótesis y la estructura general de la tesis.

El **Capítulo 2** comprende una revisión bibliográfica sobre los principales sistemas de alimentación utilizados en la producción lechera y su efecto sobre los resultados productivos. La información presentada en este capítulo resume información internacional y nacional sobre diferentes sistemas de alimentación utilizados en los sistemas de producción de leche y sus efectos sobre la performance animal.

El **Capítulo 3** muestra los resultados obtenidos en un estudio experimental comparando vacas alimentadas con un sistema simplificado y un sistema de ración totalmente mezclada. Este capítulo reporta los resultados de producción de leche y composición química de la leche, comportamiento de alimentación, consumo de materia seca total de los alimentos, consumo de nutrientes, peso vivo, condición corporal y metabolitos en sangre de 32 vacas Holstein alimentadas bajo dos sistemas de alimentación con una dieta compuesta por heno de alfalfa, concentrados y silaje de maíz durante la lactancia temprana. Este capítulo fue publicado en el año 2020 en Italian Journal of Animal Science (Cuffia et al., 2020).

El **Capítulo 4** presenta los resultados de la modelación de curvas de lactancias desde el momento inmediatamente posterior al parto hasta los 305 días de la lactancia. Para estimar los parámetros de las curvas de lactancias por vaca se utilizó el modelo matemático de polinomio de Legendre de tercer orden (Kirkpatrick et al. 1990) y los resultados productivos obtenidos en el estudio experimental. Se evaluó la precisión y exactitud del modelo en la predicción de la curva de lactancia, utilizando el error de predicción relativo y el coeficiente de correlación de concordancia. Se compararon los resultados de rendimiento de leche, grasa y proteína en vacas Holstein para los diferentes sistemas de alimentación.

El **Capítulo 5** evalúa el resultado productivo, económico y el análisis de riesgo económico de sistemas lecheros completos con un sistema de alimentación simplificado y con un sistema de alimentación con ración totalmente mezclada en vacas lecheras. Se utilizó el modelo de simulación *e-Dairy* para realizar simulaciones determinísticas y

estocásticas para cada sistema de alimentación. El riesgo de los sistemas se estudió teniendo en cuenta escenarios de mercado incierto (que afectan el precio de leche y concentrados), así como escenarios de clima incierto (que afecta la producción de pasturas y cultivos).

El **Capítulo 6** incluye una discusión general de la tesis y resume los principales resultados sobre la temática, brindando información relevante sobre los sistemas simplificados de alimentación como una alternativa atractiva a utilizarse en sistemas lecheros de Argentina.

REFERENCIAS

- Alqaisi O, Moraes LE, Ndambi OA, Williams RB. 2019. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. *Information Processing in Agriculture*, 6: 438-453.
- Baudracco, J.; Lazzarini, B.; Rosset, A; Jáuregui, J. Braidá, D. y Maiztegui, J. (2014). Cuantificación de limitantes productivas en tambos de Argentina. Reporte Final. <http://www.infortambo.com/admin/upload/arch/proyecto%20indices.pdf>. Acceso Marzo 2020.
- Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Comeron EA, MacDonald KA and Barry TN 2013. E-Dairy: a dynamic and stochastic whole-farm model that predicts biophysical and economic performance of grazing dairy systems. *Animal* 7: 870–878.
- Cuffia M, Baudracco J, Romero L, Cuatrin A, Gagliostro G, Maiztegui J, Comeron E. 2020. A simplified feeding system did not affect milk production compared with a total mixed ration system in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science* 19: 887-895, DOI: 10.1080/1828051X.2020.1805369
- Beever DE and Doyle PT. 2007. Feed conversion efficiency as a key determinant of dairy herd performance: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47.6: 645-657.
- Fan YK, Lin YL, Chen KJ and Chiou PWS. 2002. Effect of concentrate feeding frequency versus total mixed ration on lactational performance and ruminal characteristics of Holstein cows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 15: 658–664. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.658>
- FAO and IFCN. 2014. World mapping of animal feeding systems in the dairy sector.
- Ferris CP, Frost JP, Binnie RC, Patterson DC. 2006. Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems. *Grass Forage Sci.* 61:304–314. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00534.x>
- Forbes J.M. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nut. Res. Rev.* 20:132–146. <https://doi.org/10.1017/S0954422407797834>

- Gastaldi L, Cuatrin A, Maekawa M, Litwin G, Marino M, Centeno A, Moretto M. 2018. Informe de Lechería Pampeana del ejercicio 2016/2017. <https://inta.gob.ar/documentos/lecheria-pampeana-resultados-productivos-ejercicio-2016-2017>. Acceso Marzo 2020.
- Gastaldi L, Litwin G, Maekawa M, Moretto M, Marino M, Engler P, Cuatrin A, Centeno A y Galetto A 2020. Encuesta sectorial lechera del INTA-Resultados del ejercicio productivo 2018-2019. <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/16109095-encuesta-lechera-inta-2018-2019-documento-completo>. Acceso 2020.
- Gagliostro GA, Quilaguy-Ayure GA, Antonacci LE, Cangiano CA. 2018. Effects of Partial Mixed Rations on Production, Composition and Nutritional Value of Milk in Lactating Dairy Cows in Temperate Region of Argentina Agricultural Sciences 9: 852-872.
- Kirkpatrick M, Lofsvold D, Bulmer M. 1990. Analysis of inheritance, selection, and evolution of growth trajectories. Genetics. 124:979–993.
- Lazzarini B, Baudracco J, Demarchi E, Lovino D, Jáuregui JM. 2014. Evolución de la suplementación, el consumo de pastura y la producción de leche en sistemas lecheros de Argentina. Revista FAVE – Ciencias Agrarias 13, 73-78.
- Lazzarini B, Lopez-Villalobos N, Lyons N, Hendrikse L, Baudracco J. 2018. Productive, economic and risk assessment of grazing dairy systems with supplemented cows milked once a day. Animal 12:1077-1083.
- Lazzarini B, Baudracco J, Tuñon G, Gastaldi L, Lyons N, Quattrochi H and Lopez-Villalobos N. 2019. Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. Applied Animal Science 35:426-432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>
- Maekawa M, Beauchemin KA and Christensen DA. 2002a. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 85:1165–1175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74179-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9)

- Pezzuolo A, Chiumenti A, Sartori L, Da Borso F. 2016. Automatic feeding system: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. Proceedings of 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development; Jelgava, Latvia. p. 882–887.
- Schingoethe DJ. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. J. Dairy Sci. 100:10143-10150. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12967>
- Tangorra FM, Calcante A. 2018. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: results from a field test. Journal of Agricultural Engineering 49. doi:10.4081/jae.2018.869

CAPÍTULO 2

Efectos de los sistemas de alimentación
sobre la performance de vacas lecheras:
Revisión bibliográfica

RESUMEN

El objetivo de este capítulo fue revisar los principales sistemas de alimentación utilizados en la producción de leche y sus efectos sobre la performance animal. Se utilizaron datos de 24 estudios experimentales publicados internacionalmente. Los principales sistemas de alimentación utilizados en sistemas lecheros se dividieron en: i) sistemas de alimentación completamente pastoril utilizando como fuente de alimentación solamente pasturas; ii) sistemas de ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés); iii) sistema pastoril con suplementación con concentrados (PC); iv) sistemas que combinan pastura y TMR, denominados ración parcialmente mezclada (PMR, partial mixed ration, por su sigla en inglés) y v) sistema de alimentación con componentes separados (CS).

Las vacas alimentadas únicamente con pasturas o PC presentaron menor consumo de materia seca total, menor producción de leche, y mayores pérdidas de peso vivo y score de condición corporal que las vacas alimentadas en sistemas TMR.

Las dietas PMR alternan el confinamiento con accesos diarios y restringidos a las pasturas, y presentan muchas de las ventajas del sistema TMR. La inclusión de pastura fresca en combinación con una TMR resulta en una estrategia adecuada para mantener la producción de leche, cuando la participación de la pastura es baja. Un incremento en la inclusión de pastura y mayor tiempo de acceso a la pastura pueden reducir el consumo de materia seca total y producción de leche.

En vacas lecheras con producciones superiores a 28 kg/leche por día, alimentadas con componentes separados presentaron similar consumo de materia seca total a vacas alimentadas con TMR. Sin embargo, la producción de leche, grasa butirosa y proteína bruta en leche fue mayor en sistemas TMR que en CS, con similares peso vivo y condición corporal entre sistemas.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el sector lácteo mundial ha incrementado la producción de leche, debido a una importante intensificación y eficiencia de la producción, selección genética para mayor producción de leche, manejo de la alimentación y el ordeño (Michalk et al., 2019; Meir et al., 2019)

Los sistemas de alimentación utilizados en la producción de leche tienen un rol fundamental sobre la performance animal. Existe una amplia gama de sistemas de alimentación que van desde sistemas con alta dependencia de forraje a sistemas con alta dependencia de concentrados (FAO y IFCN, 2014). Esta diversidad de sistemas de alimentación se observa tanto entre países como dentro de un mismo país.

El costo del alimento representa entre el 50 y el 70% del costo total de la producción de leche, en la gran mayoría de los sistemas de producción lechera (Ho et al., 2018; Alqaisi et al., 2019). Por lo que los sistemas de alimentación tienen un importante efecto sobre la rentabilidad del sistema de producción. El costo de la alimentación está fuertemente relacionado a los precios de los alimentos y al sistema de alimentación utilizado (Alqaisi et al., 2019).

El objetivo de este capítulo fue revisar la información disponible sobre los principales sistemas de alimentación utilizados en la producción de leche y sus efectos sobre la performance animal. En la presente revisión, se analiza cada uno de los diferentes sistemas de alimentación en contraste con el sistema de alimentación de ración totalmente mezclada.

REVISIÓN Y DISCUSIÓN

Principales sistemas de alimentación utilizados en vacas lecheras

Los principales sistemas de alimentación utilizados en vacas lecheras pueden dividirse en: i) sistemas de alimentación completamente pastoril utilizando únicamente pastura; ii) sistemas de ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés); iii) sistema pastoril con suplementación con concentrados (PC); iv) sistemas que combinan pastura y TMR, denominado ración parcialmente mezclada (PMR, partial

mixed ration, por su sigla en inglés) y v) sistema de componentes separados (CS) en el cual los alimentos son suministrados en forma separada.

La Tabla 1 muestra la información recopilada de 24 estudios experimentales publicados que utilizan los diferentes sistemas de alimentación mencionados anteriormente. En la Tabla 1 se reporta la proporción de forraje: concentrado (F: C) utilizado en la dieta, el consumo de materia seca (CMS) total, la producción de leche, grasa butirosa (GB) y proteína bruta (PB) en leche, el peso vivo (PV) y la condición corporal (CC).

Los estudios presentados en la Tabla 1 se realizaron en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Irlanda, Reino Unido, España, Uruguay y Argentina, durante períodos experimentales breves y pocos estudios se realizaron en la lactancia completa (Kolver et al., 2002; White et al., 2002; Fontaneli et al., 2005; Salado et al., 2019). Las razas de animales utilizadas en su mayoría son Holstein, a excepción de algunos estudios que utilizaron Holstein y Jersey, New Zealand, Holstein-Fresian and British-Fresian.

Los estudios con sistemas de alimentación pastoril, utilizaron pasturas monofíticas de *Medicago sativa*, *Ryegrass* o *Avena sativa* y aquellos estudios que utilizaron mezclas de pasturas, estas estaban compuestas por alguna combinación de *Trifolium repens*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, *Bromus inermis*, *Festuca*, *Lotus*. Los forrajes voluminosos principalmente utilizados fueron el silaje de maíz, silaje de alfalfa y silaje de pastura.

Comparación de sistemas de base pastoril con sistemas TMR

En el sistema de alimentación con ración totalmente mezclada (TMR) se suministran los forrajes y alimentos concentrados en forma completamente mezclada (Gagliostro et al., 2018). El uso de TMR para la alimentación de vacas lecheras comenzó a utilizarse principalmente en EEUU a partir de la década de 1960 (Schingoete et al., 2017). El TMR presenta algunas ventajas, tales como maximizar el consumo individual, ofrecer una dieta con un aporte balanceado de nutrientes, lo que permitiría el incremento de la producción individual de los animales y producir de acuerdo a su potencial genético (Schingoete et al., 2017). Por otra parte, el uso de TMR requiere inversión en

instalaciones, maquinarias y mano de obra para las actividades de alimentación (Ferris et al., 2006).

En los sistemas de alimentación pastoril, las vacas permanecen sobre pasturas la mayor parte del año. Los sistemas de alimentación basados en el uso total o parcial de pasturas de calidad representan una fuente importante de nutrientes para las vacas lecheras, siendo a su vez las pasturas el alimento de menor costo en la dieta (Dillon, 2006). Es probable que el uso de pasturas se incremente a futuro, ocupando un lugar importante en la alimentación de rumiantes, debido a la creciente demanda mundial de granos como fuente de alimento humano, animal y combustible (Auld et al., 2013) y por la contribución de los sistemas con vacas en pastoreo al medio ambiente y bienestar animal, respecto de los sistemas de confinamiento (Arnott et al., 2017).

El CMS es la principal limitante en la producción de leche de vacas de alta producción en sistemas pastoriles. Los estudios que comparan sistemas únicamente con pastura y sistemas TMR reportan que las vacas en pasturas consumieron en promedio 17 kg MS/día, un 19 % menos de MS que las vacas alimentadas en sistemas TMR (21 kg MS/día) (Tabla 1; Kolver y Muller, 1998; Tucker et al., 2001; Kolver et al., 2002; Bargo et al., 2002; O'Neill et al., 2011). Este menor CMS en sistemas pastoriles respecto a sistemas TMR está asociado a las características nutritivas de la pastura, es decir, baja densidad energética, bajo contenido de materia seca y alto contenido de fibra (Wales et al., 2013; Doyle et al., 2001) y a la limitación impuesta en el tiempo de acceso a la pastura, variables que limitan el CMS de los animales y en consecuencia, el potencial de producción de leche no se alcanza completamente (Kolver y Muller, 1998), especialmente en la lactancia temprana (Morales et al., 2010).

Algunos estudios reportan que la producción de leche promedio de vacas alimentadas únicamente en pastoreo fue de 21 kg leche/día, siendo entre un 30 % y 40% menor en comparación con vacas alimentadas en sistemas TMR (30 kg leche/día), en el mismo experimento, utilizando vacas Holstein, Holstein Fresian and New Zealand (Tabla 1; Kolver y Muller, 1998; Tucker et al., 2001; Kolver et al., 2002; Bargo et al., 2002; O'Neill et al., 2011). Se reportó además que las vacas alimentadas únicamente con pasturas presentaron mayores pérdidas de peso vivo (PV) y condición corporal (CC)

que las vacas alimentadas en sistemas TMR (Kolver y Muller, 1998; Tucker et al., 2001; Kolver et al., 2002; O'Neill et al., 2011).

Comparación de sistemas pastoriles con suplementación y sistemas TMR

La pastura no provee cantidades óptimas de nutrientes para sostener a la vaca lechera de alta producción durante gran parte del año (Kolver y Muller, 1998). Por lo tanto, muchos sistemas pastoriles incorporan alimentos suplementarios en forma de forrajes conservados y concentrados (Bargo et al., 2003), lo que permite aumentar el CMS, el consumo de energía y en consecuencia aumentar la producción de leche (Stockdale, 1999; Roche et al., 2017).

La suplementación de vacas lecheras en pastoreo tiene como objetivo mejorar el aporte de energía, de proteínas o de ambos en la dieta, con lo cual se mejora el uso de los nutrientes. Cuando se suplementa una pastura con un concentrado (sistema PC), el CMS total se incrementa (Bargo et al., 2002; Bargo et al., 2003). Sin embargo, la suplementación de pasturas con concentrados disminuye el consumo de MS de pastura (Bargo et al., 2002; Bargo et al., 2003). Este efecto es denominado sustitución. La tasa de sustitución se define como el cociente entre los kg MS de reducción en el consumo de pastura por cada kg MS de suplemento consumido (Baudracco et al., 2010). La tasa de sustitución está afectada por la disponibilidad de pastura, siendo esta el principal factor que explica la variación en producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas, existiendo una relación negativa entre tasa de sustitución y respuesta en leche por kg de suplemento adicionado (Bargo et al., 2003).

Estudios que compararon vacas lecheras de alta producción en pastoreo suplementadas con concentrado *versus* sistemas TMR utilizando vacas Holstein (White et al., 2002; Fontaneli et al., 2005), reportaron que el grupo de vacas en pastoreo suplementadas con un concentrado a base de maíz produjo un 11% menos de leche que el grupo de vacas alimentadas con TMR, sin diferencias en la concentración de GB y PB en leche entre ambos sistemas de alimentación.

Las vacas en pastoreo presentaron menor condición corporal y menor peso vivo que las vacas en el sistema TMR (White et al., 2002). Estos estudios informaron que el sistema de alimentación a base de pasturas resultó competitivo en términos de

rentabilidad en comparación con un sistema TMR (White et al., 2002). Sin embargo, Fontaneli et al. (2005) reportó que los ingresos sobre los costos de alimentación resultaron similares para los sistemas de alimentación en pastoreo suplementadas con concentrado y sistemas TMR evaluados en Estados Unidos.

Comparación de sistemas de ración parcialmente mezclada y sistemas TMR

Cuando las raciones TMR son combinadas con sesiones de pastoreo se las denomina raciones parcialmente mezcladas (PMR) (Bargo et al., 2002a). Las dietas TMR con pasturas, alternan el confinamiento con accesos diarios y restringidos a las pasturas y presentan muchas de las ventajas del sistema TMR, mientras se reduce el costo de alimentación al incluir el pastoreo.

Un estudio realizado por Bargo et al. (2002a) en vacas Holstein, comparó tres sistemas de alimentación, TMR, PMR y PC, utilizando una mezcla de gramíneas templadas. La proporción F: C de la dieta para TMR, PMR y PC fue de 52:48, 60:40 y 60:40, respectivamente. Los investigadores reportaron que vacas alimentadas con TMR produjeron en promedio 38,1 kg leche/día, siendo un 33% más de leche que vacas alimentadas en el sistema PC y un 19% mayor de leche que vacas alimentadas con PMR. Las vacas en TMR tuvieron mayor rendimiento en GB y PB en leche que vacas en el sistema PC y PMR. La suplementación de la pastura con un concentrado aumentó el CMS total y la producción de leche. Las vacas en los tres sistemas ganaron PV, sin embargo, las vacas en el tratamiento TMR tuvieron un mayor aumento de PV y CC que las vacas en los tratamientos PC y PMR.

Soriano et al. (2001) compararon la respuesta productiva y el resultado económico de vacas Holstein alimentadas en un sistema TMR y dos sistemas PMR (pastoreo de mañana y tarde). Estos investigadores informaron similar CMS total (26,6 kg MS/día) y rendimiento en leche (28,3 kg leche/día), GB (0,96 kg/día) y PB (0,89 kg/día) para los sistemas evaluados. No se observaron cambios en el PV a lo largo del estudio. Sin embargo, la CC fue mayor en las vacas alimentadas con TMR que en vacas con PMR.

Existen estudios que evaluaron el nivel de inclusión de pastura en la dieta TMR (Vibart et al., 2008; Gagliostro et al., 2018; Salado et al., 2018; Salado et al., 2019) y la

combinación de TMR y pasturas de acuerdo a las horas de acceso a la pastura (Morales-Almaráz et al., 2010; Fajardo et al., 2015; Mendoza et al., 2016).

Los estudios que evaluaron el nivel de inclusión de pastura en la dieta TMR (Tabla 1; Vibart et al., 2008; Gagliostro et al., 2018; Salado et al., 2018; Salado et al., 2019) indican que al aumentar la participación de la pastura en la dieta TMR, existe una disminución en el CMS total en comparación con vacas alimentadas únicamente con TMR.

En el mismo sentido, reportaron disminuciones lineales en la producción de leche a medida que la inclusión de pastura en la dieta se incrementó (Salado et al., 2018; Gagliostro et al., 2018; Salado et al., 2019). El mayor CMS total se observa en la TMR, lo que resulta en mayor consumo de energía frente a los sistemas PMR con mayor inclusión de pastura (Gagliostro et al., 2018; Salado et al., 2018). Salado et al. (2019) indicaron que una baja participación de pasturas en otoño-invierno (25% del CMS total) en sistemas PMR, permitirá mantener una alta producción de leche en la lactancia temprana.

Por otra parte, Vibart et al. (2008) reportaron que el incremento en la proporción de pastura en estado vegetativo (otoño) en una TMR no afectó la producción de vacas lecheras, mientras que cuando se utilizó la misma pastura en un estado avanzado de madurez (primavera), al aumentar la proporción de pastura en la dieta se redujo el CMS total, la producción de leche y proteína en comparación a vacas alimentadas con TMR (Tabla 1). La variabilidad en la respuesta en producción de leche está asociada al CMS, la calidad nutricional de los componentes de la TMR, el tipo y calidad de los pastura y requerimientos de mantenimiento para las actividades de caminar y pastorear (Vibart et al., 2008).

Los estudios que evaluaron la combinación de TMR y pasturas con diferentes horas de acceso (Morales-Almaráz et al., 2010; Fajardo et al., 2015; Mendoza et al., 2016), observaron que, al aumentar el tiempo de acceso al forraje, se incrementa el CMS de forraje y disminuye el CMS de TMR. El mayor CMS de pastura estuvo asociado a que la cantidad de TMR ofrecida a los animales fue fija y restringida al 40-50 % de su consumo voluntario, entonces al disponer de mayor tiempo de acceso a la pastura el consumo de pastura se incrementó (Fajardo et al., 2015; Mendoza et al.,

2018). Sin embargo, cuando se proporcionó una TMR ad libitum, el consumo de pastura fue bajo y, por lo tanto, la pastura representó una proporción baja de la dieta final (Mendoza et al., 2018; Pastorini et al., 2019).

En los estudios realizados por Mendoza et al. (2016) y Fajardo et al. (2015) observaron menores CMS total a medida que se aumentó el tiempo acceso a pastura, resultados que se reflejaron en una disminución de la producción de leche. Siguiendo una tendencia similar la GB y PB en leche (Mendoza et al., 2016).

El estudio realizado por Morales-Almaráz et al. (2010) observaron similares CMS total y producción de leche, lo que sugieren que períodos prolongados de acceso a una pastura de alta calidad permitirían mantener la producción de los animales en comparación al TMR. Los estudios (Vibart et al., 2008; Morales-Almaráz et al., 2010; Pastorini et al., 2018) indicaron que la inclusión de forraje fresco de alta calidad hasta un 30% en la dieta no afecta el CMS total y permite que las vacas alcancen un CMS total similar a las vacas alimentadas con TMR.

El resultado económico de los sistemas basados en pasturas fue mayor (Soriano et al., 2001, Tucker et al., 2001, White et al., 2002, Salado et al., 2019) o similar (Fontaneli et al., 2005) que el resultado económico de los sistemas TMR. Los resultados reportados por Elbehri y Ford (1995) y Tozer et al. (2003) sugirieron que el pastoreo seguiría siendo económicamente más viable que los sistemas TMR si la producción de leche del sistema base pastura no es más del 6% inferior al sistema TMR.

Al decidir qué sistema de alimentación adoptar en un sistema de producción se debe determinar la inversión requerida en cada sistema. Los sistemas basados en pasturas, además de presentar costos de alimentación reducidos, pueden tener costos de capital más bajos para maquinaria, e instalaciones que el sistema TMR (Ford, 1996; Salado et al., 2019). Sin embargo, la tierra necesaria para la producción de pastura puede ser menor en un sistema de confinamiento (White et al., 2002).

Comparación de sistemas de alimentación de componentes separados y sistemas TMR

Como consecuencia del aumento de los costos laborales y la disminución de la mano de obra calificada, existe un interés creciente en alternativas para el uso eficiente de la mano de obra en las lecherías, con sistemas de alimentación simples, en Reino Unido (Ferris et al., 2006).

Ofrecer los componentes de la dieta no mezclados (componentes separados, CS) y permitiendo un consumo *ad libitum* permite a los animales seleccionar el tipo y cantidad de cada alimento de acuerdo a sus necesidades (Forbes et al. 2007), y la vaca determina su dieta final. Los rumiantes poseen un cierto grado de sabiduría nutricional, en el sentido de que pueden seleccionar los alimentos de acuerdo a las necesidades nutricionales (Atwood et al., 2001), lo que no necesariamente significa que los animales siempre seleccionen una dieta equilibrada (Provenza. 1995).

Existen divergencias respecto a la conveniencia de ofrecer los alimentos en forma mezclada o separada. Algunos estudios reportaron que suministrar los alimentos concentrados por separado de los alimentos fibrosos se asocia a un mayor riesgo de desórdenes metabólicos en las vacas lecheras en la lactancia temprana (Maekawa et al., 2002). Sin embargo, estudios realizados por Yan et al. (1998) y Agnew (1992) indicaron que los patrones de fermentación ruminal no fueron diferente cuando los alimentos se ofrecieron en forma mezclada o separada, asociado al consumo más frecuente de alimentos concentrados en componentes separados.

Estudios previos que comparan sistemas TMR y sistemas de alimentación por componentes separados no encontraron diferencias en el CMS total (17 kg MS/día), con vacas que produjeron más de 30 kg de leche / d (Tabla 1; Gordon et al., 1995; Yan et al., 1998). Los resultados de CMS total del sistema CS, similares al sistema TMR, estuvieron asociados a la buena preservación y calidad del silaje ofrecido (Yan et al., 1998; Agnew, 1992). Ferris et al. (2006) reportaron que no hubo deterioro aeróbico cuando el silaje fue ofrecido en un sistema de alimentación en barrera consumido durante varios días, en el sistema CS.

Con respecto a la producción de leche, estudios previos que comparan TMR y sistemas de alimentación por componentes separados con vacas que producen menos de

28 kg de leche / día (Tabla 1; Holter et al. 1977; Phipps et al. 1984; Nocek et al. 1986; Agnew et al. 1996), reportaron similares rendimientos de leche, grasa y proteína entre sistemas de alimentación. Estudios que involucraron vacas lecheras que producían más de 28 kg de leche / día, estos reportaron mayores rendimientos de leche, grasa o proteína para el tratamiento TMR que para el tratamiento de componentes separados (Gordon et al. 1995; Yan et al. 1998). Gordon et al. (1995), revisando experimentos previos concluyeron que la respuesta en producción de leche en el tratamiento TMR fue mayor cuando la proporción de concentrado en la dieta aumentó hasta 0.60, en vacas de alta producción en la lactancia temprana.

Los estudios revisados mostraron similares PV y CC entre sistemas CS y TMR (Nocek et al. 1986; Gordon et al. 1995 y Ferris et al. 2006).

La información revisada en este capítulo condensa avances importantes en el conocimiento de los sistemas de alimentación. La inclusión de forraje en la dieta en combinación con TMR puede ser una estrategia adecuada para alcanzar CMS total y producción de leche similar a las vacas alimentadas únicamente con TMR. Investigaciones futuras deberían identificar combinaciones de pasturas y TMR, considerando, diferentes tipos y calidades de pastura ofrecidos en dietas PMR en estudios de lactancia completa.

Relación entre consumo de materia seca y producción de leche con diferentes sistemas de alimentación

La Figura 1 muestra la relación entre el CMS total y la producción de leche de vacas lecheras alimentadas con diferentes sistemas de alimentación: sistema base pastoril con concentrado (PC), PMR, CS y TMR. La correlación entre estas variables es de $R^2=0,40$, por lo que el CMS explicaría al menos el 40% de la producción de leche ($P \leq 0,05$). Este resultado fue similar al reportado por Hristov et al. (2000), el cual indicó una relación moderada ($R^2 = 0,47$) entre el CMS total y el rendimiento en leche.

Se puede observar que, a partir de una producción de 14,21 kg de leche, por cada unidad de incremento en CMS la producción de leche se incrementa en 0,75 kg de leche.

En los sistemas de alimentación revisados, las variaciones de producción de leche antes reportadas se explicarían, además del efecto del CMS total en los diferentes sistemas, debido a las diferencias en los requerimientos de energía neta de mantenimiento para las actividades de pastoreo, entre vacas que pastorean y vacas sin pastoreo y consumo de energía (Fajardo et al., 2015, Vibart et al., 2008, Bargo et al., 2002). Asimismo, la energía de la dieta (Hristov et al. 2004), la calidad nutricional de los componentes de la TMR, cambios en el consumo de nutrientes, el tipo y calidad de las pasturas (Vibart et al., 2008).

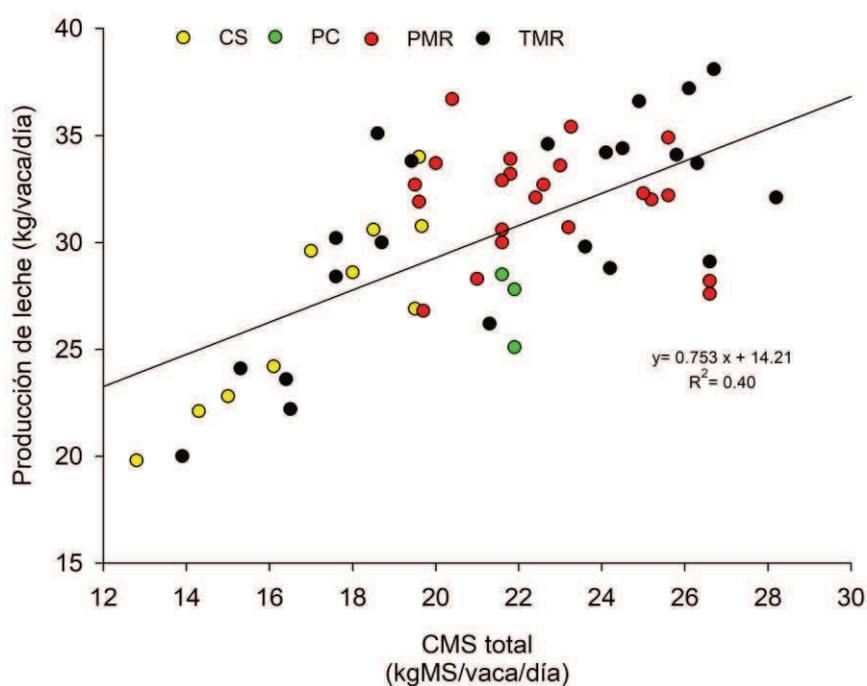


Figura 1. Relación entre el consumo de materia seca total (CMS; kg MS/vaca/día) y la producción de leche (kg leche/vaca/día) en vacas lecheras alimentadas en diferentes sistemas de alimentación. CS= componentes separados; PC= sistema base pastura más concentrado; PMR=ración parcialmente mezclada; TMR= ración totalmente mezclada.

1 **Tabla 1.** Consumo de materia seca (CMS) total (kg MS/ vaca/día), producción de leche (kg leche/vaca/día), grasa butirosa (GB, kg GB/vaca/día)
 2 y proteína bruta (PB, kg PB/vaca/día) en leche, peso vivo (PV, kg) y condición corporal (CC, escala 1 a 5) de vacas lecheras en diferentes
 3 sistemas de alimentación: i) sistemas completamente pastoril con una única pastura o una mezcla de pasturas (P); ii) suplementación de pastura
 4 con concentrados (PC); iii) sistema de ración totalmente mezclada (TMR); iv) sistema de ración parcialmente mezclada (PMR); v) sistema de
 5 alimentación por componentes separados (CS). Proporción de forraje: concentrado (F: C), número total de animales utilizados en el experimento
 6 (N), duración del experimento expresado en días en lactancia (DEL).

Referencia	País	N	Raza	Duración DEL	Sistema Alimentación	F	C	CMS total	Leche	GB	PB	PV	CC
<i>Pastura y TMR</i>													
Kolver and Muller, 1998	USA	16	Holstein	59 a 97	P	100	0	19	29,6	1,1	0,77	562	2
		16	Holstein	59 a 97	TMR	53	47	23,4	44,1	1,52	1,22	577	2,5
Tucker et al., 2001	USA	40	Holstein y Jersey	230 a 305	P	100	0	16,76	21	0,84	0,75	584	3,6
		40	Holstein y Jersey	230 a 305	TMR	52	48	20,3	26,18	1,13	0,92	648	3,7
Kolver et al., 2002	NZ	28	New Zealand	1 a 300	P	100	0	16	17,6	0,88	0,66	495	.
		28	New Zealand	1 a 300	TMR	52	48	19	24,3	1,12	0,88	556	.
		27	Holstein Friesian	1 a 298	P	100	0	17	19,7	0,84	0,69	565	.
		27	Holstein Friesian	1 a 298	TMR	52	48	22,5	33,8	1,22	1,19	634	.
Bargo et al., 2002	USA	20	Holstein	101 a 184	P	100	0	18,3	19,1	0,74	0,5	632	2,66
		20	Holstein	101 a 184	PC	65	35	24,1	29,7	0,96	0,83	632	2,66
		20	Holstein	101 a 184	P	100	0	21,2	22,2	0,84	0,59	632	2,66
		20	Holstein	101 a 184	PC	65	35	24,8	29,9	0,98	0,84	632	2,66
Oneill et al., 2011	Irlanda	48	Holstein Friesian	64 a 104	P	100	0	14,28	19,58	0,83	0,64	478	2,91
		48	Holstein Friesian	64 a 104	TMR	53	47	19,69	26,96	1,11	0,86	546	3,22

<i>Pastura más Concentrado y TMR</i>													
Fontaneli et al., 2005	USA	40	Holstein	1 a 270	PC	55	45	21,9	25,1	0,93	0,73	563,75	.
		40	Holstein	1 a 270	PC	55	45	21,9	25,1	0,91	0,75	578,75	.
		40	Holstein	1 a 270	TMR	60	40	23,6	29,8	1,1	0,88	608,75	.
White et al., 2002	USA	282	Holstein	1 a 305	PC	62	38	.	23	.	.	568	2,4
		282	Holstein	1 a 305	TMR	62	38	.	26	.	.	583	2,7
		222	Jersey	1 a 305	PC	62	38	.	17	.	.	387	2,7
		222	Jersey	1 a 305	TMR	62	38	.	20,2	.	.	419	2,9
<i>TMR y PMR</i>													
Soriano et al., 2001	USA	54	Holstein	185 a 227	PMR	81	19	26,6	28,2	0,94	0,88	598	2,8
		54	Holstein	185 a 227	PMR	71	29	26,6	27,6	0,95	0,88	567	2,9
		54	Holstein	185 a 227	TMR	47	53	26,6	29,1	1,01	0,93	607	3
Bargo et al., 2002a	USA	45	Holstein	109 a 256	PC	60	40	21,6	28,5	0,89	0,79	620	2,61
		45	Holstein	109 a 256	PMR	60	40	25,2	32	1,06	0,93	631	2,76
		45	Holstein	109 a 256	TMR	52	48	26,7	38,1	1,24	1,13	675	2,88
<i>Diferentes proporciones de TMR y PMR</i>													
Vibart et al., 2008 (otoño)	USA	30	Holstein	87 a 143	TMR	40	60	25,8	34,1	1,25	1	577	2,88
		30	Holstein	87 a 143	PMR	52.6	47.4	21,8	33,2	1,23	0,96	584	3,13
		30	Holstein	87 a 143	PMR	59.2	40.8	21,6	30	1,23	0,94	581	2,91
		30	Holstein	87 a 143	PMR	64.6	35.4	21,6	32,9	1,29	0,94	561	3,04
Vibart et al., 2008 (primavera)	USA	30	Holstein	126 a 182	TMR	40	60	24,9	36,6	1,19	1,04	611	3,04
		30	Holstein	126 a 182	PMR	46.6	56.4	20,4	36,7	1,29	1,04	619	2,95
		30	Holstein	126 a 182	PMR	52.6	47.4	19,6	31,9	1,13	0,93	625	3,12

Almaraz et al., 2010	España	30	Holstein	126 a 182	PMR	61	39	19,5	32,7	1,18	0,93	622	3,03
		15	Holstein	94 a 157	TMR	57	43	22,7	34,6	1,31	1,04	607	.
		15	Holstein	94 a 157	PMR	58	42	23,26	35,4	1,39	1,06	609	.
		15	Holstein	94 a 157	PMR	65	35	23	33,6	1,23	1,02	618	.
Fajardo et al., 2015	URU	41	Holstein	1 a 70	TMR	45	55	26,1	37,2	1,3	1,3	638	2,86
		41	Holstein	1 a 70	PMR	60	40	20	33,7	1,3	1,1	635	2,78
		41	Holstein	1 a 70	PMR	61	39	21,8	33,9	1,3	1,1	648	2,71
Mendoza et al 2016	URU	9	Holstein	100 a 160	TMR	45	55	24,5	34,4	1,4	1,13	.	.
		9	Holstein	100 a 160	PMR	51	49	25,6	34,9	1,37	1,16	.	.
		9	Holstein	100 a 160	PMR	54	46	22,6	32,7	1,29	1,06	.	.
Salado et al., 2018	ARG	40	Holstein	66 a 130	TMR	49	51	24,1	34,2	1,35	1,18	606,2	2,45
		40	Holstein	66 a 130	PMR	60	40	22,41	32,1	1,25	1,11	583,4	2,42
		40	Holstein	66 a 130	PMR	71	29	21	28,3	1,1	0,96	560,8	2,21
		40	Holstein	66 a 130	PMR	85	15	19,7	26,8	1,04	0,92	543,5	2
Gagliostro et al., 2018	ARG	9	Holstein	52 a 136	TMR	36	64	28,2	32,1	0,91	1,07	603	.
		9	Holstein	52 a 136	PMR	49	51	25,6	32,2	0,94	1,06	603	.
		9	Holstein	52 a 136	PMR	63	37	23,2	30,7	0,95	1,03	603	.
		9	Holstein	52 a 136	PMR	79	21	21,6	30,6	0,97	1	603	.
Salado et al., 2019	ARG	50	Holstein	53 a 240	TMR	40	60	26,3	33,7	1,33	1,19	631,5	2,77
		50	Holstein	53 a 240	PMR	54	46	25	32,3	1,24	1,13	607,5	2,67
		50	Holstein	53 a 240	TMR	53	47	24,2	28,8	1,1	0,99	672	3,25
		50	Holstein	53 a 240	PC	71	29	21,9	27,8	0,92	0,93	618	2,97
<i>Componentes separados y TMR</i>													
Holter, 1977	USA	15	Holstein	43 a 183	TMR	40	60	15,3	24,1	1,5	1,3	573	.
		15	Holstein	43 a 183	CS	40	60	15,0	22,8	1,67	1,37	569	.
Phipps 1984	UK	96	British-Frisian	21 a 140	TMR	40	60	16,5	22,2	0,9	0,7	.	.

exp 1		96	British-Frisian	21 a 140	CS	40	60	14,3	22,1	0,7	0,7	.	.
Phipps 1984 exp 2	UK	100	British-Frisian	21 a 140	TMR	50	50	16,4	23,6	0,9	0,8	.	.
		100	British-Frisian	21 a 140	CS	50	50	16,1	24,2	1,0	0,8	.	.
Nocek et al., 1986	USA	80	.	1 a 120	TMR	50	50	21,3	26,2	1,0	0,9	.	.
		80	.	1 a 120	CS	50	50	19,5	26,9	1,0	0,9	.	.
Gordon et al., 1995	UK	36	Holstein Fresian	11 a 160	TMR	36	64	19,4	33,8	1,3	1,1	588	3,09
		36	Holstein Fresian	11 a 160	CS	36	64	19,7	30,8	1,2	1,0	552	2,98
Agnew et al., 1996	UK	24	Holstein Fresian	1 a 120	TMR	70	30	13,9	20,0	1,96	1,37	460	.
		24	Holstein Fresian	1 a 120	CS	70	30	12,8	19,8	1,90	1,40	449	.
Yan et al., 1998 exp 1	UK	12	Holstein Fresian	53 a 120	TMR	40	60	17,6	30,2	1,21	1,09	.	.
		12	Holstein Fresian	53 a 120	CS	40	60	18,0	28,6	1,18	1,04	.	.
Yan et al., 1998 exp 2	UK	48	Holstein Fresian	21 a 101	TMR	40	60	18,6	35,1	1,34	1,21	.	.
		48	Holstein Fresian	21 a 101	CS	40	60	19,6	34,0	1,44	1,18	.	.
Ferris et al., 2006 exp 1	UK	64	Holstein Fresian	1 a 141	TMR	63	47	17,6	28,4	1,39	1,18	539	2,4
		64	Holstein Fresian	1 a 141	CS	63	47	17,0	29,6	1,30	1,15	532	2,3
Ferris et al., 2006 exp 2	UK	86	Holstein Fresian	1 a 146	TMR	45	55	18,7	30,0	1,39	1,13	561	2,5
		86	Holstein Fresian	1 a 146	CS	45	55	18,5	30,6	1,31	1,10	556	2,5

CONCLUSIONES

En el sistema base pastoril las vacas presentaron un menor consumo de materia seca total, menor producción de leche, y mayores pérdidas de peso vivo y score de condición corporal que las vacas alimentadas con ración totalmente mezclada.

La combinación de pastura y ración totalmente mezclada podría complementar los sistemas de producción basados en el pastoreo directo al posibilitar una oferta de nutrientes balanceada, siendo una estrategia adecuada para mantener la producción de leche, con una baja participación de la pastura. Una elevada inclusión de pastura puede afectar el consumo de materia seca total y la producción de leche.

En vacas lecheras con producciones superiores a 28 kg/leche por día, alimentadas con componentes separados presentaron similar consumo de materia seca total a vacas alimentadas con TMR. Sin embargo, la producción de leche, grasa butirosa y proteína bruta en leche fue mayor en sistemas TMR que en CS, con similares peso vivo y condición corporal entre sistemas. La mayor respuesta productiva del sistema ración totalmente mezclada estuvo asociada a una alta proporción de concentrado en la dieta.

REFERENCIAS

- Agnew KW, Mayne CS, Doherty JG. 1996. An examination of the effect of method and level of concentrate feeding on milk production in dairy cows offered a grass silage based diet. *Animal Sci.* 63:21–31.
- Alqaisi O, Moraes LE, Ndambi OA, Williams RB. 2019. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. *Information Processing in Agriculture*, 6: 438-453.
- Arnott G, Ferris CP, O’Connell NE. 2017. Review: welfare of dairy cows in continuously housed and pasture-based production systems. *Animal* 11: 261–273.
- Atwood SB, Provenza FD, Wiedmeier RD, Banner RE. 2001. Influence of free-choice vs mixed-ration diets on food intake and performance of fattening calves. *Journal of Animal Science*, 79: 3034-3040.
- Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Macdonald KA. 2010. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53: 109-133.
- Baudracco, J.; Lazzarini, B.; Rosset, A; Jáuregui, J. Braidá, D. y Maiztegui, J. (2014). Cuantificación de limitantes productivas en tambos de Argentina. Reporte Final. <http://www.infortambo.com/admin/upload/arch/proyecto%20indices.pdf>. Acceso Marzo 2020.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of dairy science*, 85, 1777-1792.
- Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E. and Cassidy, T.W. (2002a) Performance of High Producing Dairy Cows with Three Different Feeding Systems Combining Pasture and Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science*, 85, 2948-2963. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S. and Delahoy, J.E. (2003) Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86, 1-42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)

- Dillon, P. (2006). Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In: Fresh herbage for dairy cattle (Eds: Elgersma A, Tamminga S). Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp: 1-26.
- Doyle, P.T., Stockdale, C.R., Wales, W.J., Walker G.P., Heard J.W. (2001) Limits to and optimising of milk production and composition from pastures. Recent. Adv in Anim. Nut. Aust. 13: 9 -17
- Elbehri, A. S.A Ford. 1995. Economic Analysis of Major Dairy Forage Systems in Pennsylvania: The Role of Intensive Grazing. Journal of Production Agriculture, 4, 449-507. <https://doi.org/10.2134/jpa1995.0501>
- FAO and IFCN. 2014. World mapping of animal feeding systems in the dairy sector.
- Fajardo, M., Mattiauda, D.A., Motta, G., Genro, T.C., Meikle, A., Carriquiry, M. and Chilibroste, P. (2015) Use De Mixed Rations with Different Access Time to Pastureland on Productive Responses of Early Lactation Holstein Cows. Livestock Science , 181, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.023>
- Ferris CP, Frost JP, Binnie RC, Patterson DC. 2006. Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems. Grass Forage Sci. 61:304–314. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00534.x>
- Fontaneli, R.S., Sollenberger, L.E., Littell, R.C. and Staples, C.R. (2005) Performance of Lactating Dairy Cows Managed on Pasture-Based or in Freestall Barn-Feeding Systems. Journal of Dairy Science , 88, 1264-1276.
- Forbes J.M. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. Nut. Res. Rev. 20:132–146. <https://doi.org/10.1017/S0954422407797834>
- Gastaldi L, Cuatrin A, Maekawa M, Litwin G, Marino M, Centeno A, Moretto M. 2018. Informe de Lechería Pampeana del ejercicio 2016/2017. <https://inta.gob.ar/documentos/lecheria-pampeana-resultados-productivos-ejercicio-2016-2017>. Acceso Marzo 2020.
- Gastaldi L, Litwin G, Maekawa M, Moretto M, Marino M, Engler P, Cuatrin A, Centeno A y Galetto A 2020. Encuesta sectorial lechera del INTA-Resultados del ejercicio productivo 2018-2019.

<http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/16109095-encuesta-lechera-inta-2018-2019-documento-completo>. Acceso 2020.

- Gagliostro GA, Quilaguy-Ayure GA, Antonacci LE, Cangiano CA. 2018. Effects of Partial Mixed Rations on Production, Composition and Nutritional Value of Milk in Lactating Dairy Cows in Temperate Region of Argentina *Agricultural Sciences* 9: 852-872.
- Gordon FJ, Patterson DC, Yan T, Porter MG, Mayne CS, Unsworth EF. 1995. The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilisation of energy and nitrogen. *Anim Sci.* 61: 199–210.
- Ho CKM, Heard JW, Wales WJ, Jacobs JL, Doyle PT, Malcolm B. 2018. Evaluating the economics of concentrate feeding decisions in grazing dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 58:1329–1340. <https://doi.org/10.1071/AN16122>
- Holter JB, Urban WE, Hayes H, Davis HA. 1977. Utilisation of diet components fed blended or separately to lactating cows. *J Dairy Sci.* 60:1288–1293.
- Hristov, A., K.A., Hristova, W.J., Price. 2000. Relationship between dry matter intake, body weight, and milk yield in dairy cows: A summary of published data. *J Dairy Sci*, 83(Suppl 1), 260.
- Hristov A, W.J., Price, B., Shafii. 2004. A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87: 2184-2196.
- Kolver, E.S. and Muller, L.D. (1998) Performance and Nutrient Intake of High Producing Holstein Cows Consuming Pasture or a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*, 81, 1403-1411. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75704-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75704-2)
- Kolver, E.S., Roche, J.R., De Veth, M.J., Thorne, P.L. and Napper, A.R. (2002) Total Mixed Rations versus Pasture Diets: Evidence for a Genotype x Diet Interaction in Dairy Cow Performance. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 62, 246-251.
- Lazzarini B, Baudracco J, Tuñón G, Gastaldi L, Lyons N, Quattrochi H and Lopez-Villalobos N. 2019. Milk production from dairy cows in Argentina: Current state

- and perspectives for the future. *Applied Animal Science* 35:426-432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>
- Maekawa M, Beauchemin KA and Christensen DA. 2002a. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1165–1175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74179-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9)
- Meir, Y. B., Nikbachat, M., Jacoby, S., Portnik, Y., Levit, H., Elazary, A. K., Gersghon E, Adin G, Cohen Zinders M, Shabtay A, Zachut M, Mabjeesh SJ, Halamchmi I, Miron J. 2019. Effect of lactation trimester and parity on eating behavior, milk production and efficiency traits of dairy cows. *Animal*, 13, 1736-1743.
- Mendoza, A., C., Cajarville, J.L., Repetto. 2016. Intake, milk production, and milk fatty acid profile of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 99: 1938-1944.
- Mendoza, A., C., Cajarville, J. L., Repetto. 2018. Behaviour of cows fed a total mixed ration with different access time to fresh forage. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 61: 102-108.
- Michalk, D. L., Kemp, D. R., Badgery, W. B., Wu, J., Zhang, Y., Thomassin, P. J. 2019. Sustainability and future food security—A global perspective for livestock production. *Land Degradation & Development*, 30: 561-573.
- Morales-Almaráz, E., Soldado, A., González, A., Martínez-Fernández, A., Domínguez-Vara, I., de la Roza-Delgado, B. and Vicente, F. (2010) Improving the Fatty Acid Profile of Dairy Cow Milk by Combining Grazing with Feeding of Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Research*, 77, 225-230. <https://doi.org/10.1017/S002202991000004X>
- Nocek JE, Steele RL, Braund DG. 1986. Performance of dairy cows fed forage and grain separately versus a total mixed ration. *J Dairy Sci.* 69:2140–2147.
- O'Neill, B.F., Deighton, M.H., O'Loughlin, B.M., Mulligan, F.J., Boland, T.M., O'Donovan, M. and Lewis, E. (2011) Effects of a Perennial Ryegrass Diet or Total Mixed Ration Diet Offered to Spring-Calving Holstein-Friesian Dairy

- Cows on Methane Emissions, Dry Matter Intake, and Milk Production. *Journal of Dairy Science*, 94, 1941-1951. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3361>
- Pastorini, M., N., Pomiés, J.L., Repetto, A., Mendoza, C., Cajarville. 2019. Productive performance and digestive response of dairy cows fed different diets combining a total mixed ration and fresh forage. *Journal of dairy science*, 102: 4118-4130.
- Phipps RH, Bines JA, Fulford RJ, Weller RF. 1984. Complete diets for dairy cows: a comparison between complete diets and separate ingredients. *J Agric Sci*. 103:171–180.
- Provenza FD. 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Rangel Ecol Manag*. 48:2–17.
- Roche JR, Berry DP, Bryant AM, Burke CR, Butler ST, Dillon PG. 2017. A 100-year review: A century of change in temperate grazing dairy systems. *Journal of Dairy Science* 100:10189-10233.
- Rushen, J., de Passillé, A.M., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M. (2008). Housing for adult cattle. In: *The welfare of cattle*. Springer. Amsterdam, Netherlands. pp 142-180.
- Salado, E.E., Bretschneider, G., Cuatrin, A. and Gagliostro, G.A. (2018) Effects of Supplementation with Increasing Levels of Energy Concentrate on the Productive Response and Ruminant Digestion of Dairy Cows Grazing Lucerne Pasture. *Agricultural Sciences*, 9, 1487-1505. <https://doi.org/10.4236/as.2018.911104>
- Schingoethe DJ. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *J. Dairy Sci*. 100:10143-10150. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12967>
- Soriano, F.D., Polan, C.E. and Miller, C.N. (2001) Supplementing Pasture to Lactating Holsteins Fed a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*, 84:2460-2468.
- Stockdale, C. R. 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.

- Tozer, P.R., F. Bargo, L.D. Muller. 2003. Economic Analyses of Feeding Systems Combining Pasture and Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*, 86, 808-818. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73663-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73663-7).
- Tucker, W.B., Rude, B.J. and Wittayakun, S. (2001) Case Study: Performance and Economics of Dairy Cows Fed a Corn Silage-Based Total Mixed Ration or Grazing Annual Ryegrass during Mid to Late Lactation. *The Professional Animal Scientist*, 17, 195-201. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31622-3](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31622-3)
- Vibart, R.E., Fellner, V., Burns, J.C., Huntington, G.B. and Green, J.T. (2008) Performance of Lactating Dairy Cows Fed Varying Levels of Total Mixed Ration and Pasture. *Journal of Dairy Research*, 75, 471-480. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003361>
- Wales, W.J., Marret, L.C., Greenwood, J. S., Wright, M.M., Thornhill, J.B., Jacobs, J.L., Ho.C.K.M., Auldish, M.J. (2013). Use of partial mixed rations in pasture based dairying in temperature regions of Australia. *Anim. Prod. Sci.* 53:1167-1178
- White, S.L., Benson, G.A., Washburn, S.P. and Green, J.T. (2002) Milk Production and Economic Measures in Confinement or Pasture Systems Using Seasonally Calved Holstein and Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*, 85:95-104. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74057-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74057-5)
- Yan T, Patterson DC, Gordon FJ. 1998. The effect of two methods of feeding the concentrate supplement to dairy cows of high genetic merit. *Anim Sci.* 67:395–403.

CAPÍTULO 3

Un sistema de alimentación simplificado no
afectó la producción de leche comparado
con un sistema de ración totalmente
mezclada en vacas lecheras

La versión en inglés de este capítulo fue publicada en 2020 en el Italian Journal of Animal Science 19:1, 887-895. Maira Cuffia, Javier Baudracco, Luis Romero, Alejandra Cuatrín, Gerardo Gagliostro, Jose Maiztegui, Eduardo Comerón.

<https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.180536>

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar la performance animal de un sistema de alimentación simplificado, denominado alimentación fácil (EF, easy feeding, por su sigla en inglés), con la performance animal de un sistema de alimentación de ración total mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés), utilizando vacas lecheras de alta producción en la lactancia temprana. Se evaluaron dos tratamientos, TMR (n=16) y EF (n=16), en un diseño completamente al azar. Se utilizaron vacas Holstein ($617 \pm 85,1$ kg de peso corporal y 52 ± 16 días en leche). El tratamiento TMR consistió en una mezcla de concentrados, silo de maíz y heno de alfalfa, mezclado y ofrecido dos veces al día, mientras que el tratamiento EF incluyó los mismos componentes de la dieta ofrecidos por separado, con el concentrado ofrecido individualmente en la sala de ordeño, el heno de alfalfa ofrecido en rollos y el silo de maíz ofrecido directamente de la bolsa, sin intervención de maquinaria en el proceso de alimentación. El sistema de alimentación no tuvo ningún efecto sobre la producción de leche, el rendimiento de grasa y proteína en la leche, el consumo de energía neta total, el consumo de materia seca total, el peso corporal y la condición corporal, los metabolitos plasmáticos y el tiempo de comida y rumia. Las vacas en el sistema EF tuvieron un mayor consumo de carbohidratos no fibrosos, menor consumo de proteína bruta y fibra detergente neutra y mayor tiempo de bebida que las vacas en el sistema TMR. Las vacas en EF seleccionaron una dieta de acuerdo a sus preferencias, lo que pudo haberles permitido alcanzar una producción de leche similar a la de las vacas en TMR, a pesar de las ventajas de las dietas mezcladas en el tratamiento TMR. Por lo tanto, el sistema EF es una alternativa atractiva al sistema TMR tradicional, siempre que los costos de las operaciones de alimentación se reduzcan de manera efectiva.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alimentación desempeñan un papel importante tanto en la performance animal (Grant y Albright, 2001) como en los costos de alimentación (Thanh y Suksombat, 2015). La alimentación es el mayor costo en los sistemas de producción lechera (Ho et al., 2018), no solo por el costo de los alimentos en sí, sino también por el costo de las actividades de alimentación (Pezzuolo et al., 2016).

Proporcionar una ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés) a las vacas lecheras es hoy en día una práctica común en los sistemas de producción de leche comerciales con vacas en confinamiento. El TMR ofrece a la vaca un suministro equilibrado de nutrientes durante todo el día (Schingoethe, 2017), lo cual asegura una fermentación constante en el rumen (Fan et al., 2002) y puede mejorar la producción de leche (Schingoethe, 2017). Sin embargo, el sistema TMR requiere inversiones en maquinaria, aumenta los costos operativos relacionados con la alimentación y la demanda de mano de obra (Ferris et al., 2006). Estudios recientes informaron que cuando se utilizan sistemas de alimentación TMR, más del 25% del tiempo total de trabajo se asigna a las actividades de alimentación en los sistemas lecheros y los costos de operación varían entre \$ 0,18 y 0,21 por vaca por día sin contabilizar la inversión de capital y mantenimiento (Pezzuolo et al., 2016; Tangorra y Calcante, 2018). Mientras que otros sistemas, como los PMR (partial mixed ration, raciones parcialmente mezcladas) reportaron un costo de \$ 0.051 por kg de materia seca para la distribución del silaje y heno en un mixer, contabilizando la mano de obra, combustible, depreciación de la maquinaria y mantenimiento (Lazzarini et al., 2018).

A pesar de las ventajas nutricionales del uso del sistema de alimentación TMR, algunos productores lecheros han desarrollado un sistema de alimentación simplificado para reducir los costos operativos. Este sistema de alimentación simplificado, en lo sucesivo denominado alimentación fácil (EF, easy feeding, por su sigla en inglés), consiste en suministrar los componentes de la dieta por separado sin utilizar maquinaria, ofreciendo el ensilaje directamente desde la bolsa del silo a través de orificios en ambos lados de la bolsa, el heno directamente desde los rollos y el alimento concentrado en la sala de ordeño. El sistema EF elimina el uso de maquinaria especializada para extraer y mezclar alimentos, lo que también reduce la demanda de mano de obra y el uso de

energía fósil en el proceso de alimentación. Sin embargo, el sistema de alimentación EF requiere una inversión mínima de capital para un tractor para la distribución de rollos de heno.

En términos de rendimiento animal, algunos estudios reportaron que suministrar los alimentos concentrados por separado del forraje se asocia a un mayor riesgo de desórdenes metabólicos en las vacas lecheras en la lactancia temprana (Maekawa et al., 2002). Sin embargo, ofrecer los componentes de la dieta por separado y para consumo *ad libitum*, permite a los animales seleccionar los alimentos de acuerdo a sus necesidades (Forbes et al. 2007), y la vaca determina su dieta final. Por consiguiente, los rumiantes poseen un cierto grado de sabiduría nutricional en el sentido de que pueden seleccionar los alimentos de acuerdo a las necesidades nutricionales, lo que no significa que los animales siempre seleccionen una dieta equilibrada (Provenza, 1995).

El objetivo de nuestro estudio fue comparar la performance animal de las vacas en un sistema de alimentación simplificado con la performance animal de las vacas en el sistema tradicional de alimentación TMR, utilizando vacas Holstein de alta producción en la lactancia temprana. Por consiguiente, planteamos la hipótesis que las vacas alimentadas con un sistema EF podrían tener una performance animal similar a las vacas alimentadas con el sistema TMR.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental, animales y tratamientos

El estudio se realizó en la Estación Experimental de Rafaela del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Rafaela, Argentina (31° 12 'S; 61° 30' O). Todos los procedimientos experimentales se realizaron de acuerdo con la Guía para el Cuidado y Uso de Animales Agrícolas en Investigación y Enseñanza (FASS, 2010). El experimento se realizó entre el 5 de abril y el 27 de mayo de 2016. Esto incluyó un período de adaptación de 21 días seguido de un período experimental de 31 días. Dentro del período experimental, hubo 3 semanas de mediciones y muestreo (5 días por semana), las cuales se realizaron con las vacas en 52, 64 y 78 días en leche (DEL), en promedio, al comienzo de cada semana de medición.

Veinticuatro vacas lecheras Holstein multíparas y ocho primíparas fueron seleccionadas del rodeo de parto de otoño de la Estación Experimental de Rafaela. Se evaluaron dos tratamientos, TMR y EF, en un diseño completamente al azar. Las vacas fueron balanceadas por la fecha de parto (7 de marzo \pm 16 d; media \pm DE), números de partos ($2,6 \pm 1,2$) y producción de leche diaria en la lactancia previa ($32,1 \pm 5,03$ kg/día por vaca), y luego fueron asignadas a cada tratamiento. Las vacas se agruparon en cuatro grupos homogéneos (corrales) por tratamiento ($n = 4$), con cuatro vacas por corral.

A las vacas en el tratamiento TMR se les ofreció 24 kg de MS/día, lo que permitiría un rechazo diario de 5 a 10% para garantizar la alimentación *ad libitum*. La dieta fue formulada para una vaca lechera de 620 kg de peso vivo, produciendo 35 kg de leche con 3,5% de grasa de leche y 3,0% de proteína verdadera de leche (NRC, 2001). La composición de la TMR, en base materia seca (MS), fue de 42% de concentrado, 32% de silaje de maíz y 26% de heno de alfalfa (Tabla 1), la cual representa una dieta comúnmente utilizada en los sistemas lecheros en confinamiento de la Argentina (Lazzarini et al., 2019) Los componentes de la dieta se mezclaron mecánicamente durante 10 minutos una vez al día, a las 0630 horas en un mixer (Mainero Modelo 2910, Mainero, Bell Ville, Córdoba, Argentina) y luego se les suministró a las vacas dos veces al día en una pista de alimentación, con un espacio de un metro lineal disponible por animal. El cincuenta por ciento de la TMR se suministró a las 0700 horas, y el resto a las 1500 horas. Dentro del corral las vacas tenían áreas con sombra artificial, áreas para beber y para descansar.

A las vacas en el tratamiento EF se les ofrecieron los mismos componentes de la dieta que a las vacas en el tratamiento TMR, pero los alimentos se ofrecieron por separado en EF. La cantidad, composición y calidad de los concentrados ofrecidos en el tratamiento EF fueron iguales a los ofrecidos en el tratamiento TMR. El concentrado granulado se suministró a las vacas individualmente en cantidades iguales durante el ordeño, dos veces al día, con un sistema de alimentación automático.

El ensilaje de maíz se ofreció, para un consumo *ad libitum*, directamente de la bolsa de silo de 270 cm de diámetro y 60 m de longitud, con tres orificios abiertos en un espacio de 200 cm de la bolsa de silo (tres orificios a cada lado de la bolsa). Por lo

tanto, las 16 vacas tenían 4 m para acceder a la bolsa de silo desde 6 orificios. Se colocó un boyero eléctrico para mantener el cuerpo de las vacas a 30 cm de la pared de ensilaje. Se ofreció heno de alfalfa para un consumo *ad libitum*, en rollos colocados dentro de una estructura de metal, una vez por semana.

Las vacas estaban en corrales secos de 80 metros x 40 metros. Las sombras artificiales y bebederos se ubicaron en un extremo del corral (a 10 m de distancia del centro del corral). La bolsa de silo y los rollos se colocaron en el centro del corral, de esta manera, las vacas podían acceder libremente a las áreas de alimentación, bebida y descanso.

En ambos tratamientos, las vacas no tuvieron acceso a pastura. Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día a las 0230 y 1400 horas.

Muestreo de alimentos y análisis químico

Se recolectaron muestras diarias de los alimentos frescos durante cuatro días consecutivos en cada una de las 3 semanas de medición. Todas las muestras, las de TMR y de los alimentos componentes de la dieta, se congelaron inmediatamente a -20 °C hasta su posterior análisis.

Antes de los análisis, las muestras se secaron en un horno de circulación de aire forzado a 55 °C hasta peso constante para determinar el contenido de MS y luego se molieron en un molino Wiley mill (Arthur H. Thomas, Filadelfia, PA, EE. UU.) para pasar por un 1- mm de criba. Las muestras molidas de los alimentos componentes de la dieta y TMR, fueron agrupados por semana y se analizaron para cenizas (método 924.05, AOAC, 1990), nitrógeno total (método 976.05, AOAC, 1990), proteína cruda (PC, nitrógeno total \times 6.25) y extracto de etéreo (EE, método 920.39, AOAC, 1990), fibra detergente neutro (FDN, utilizando α -amilasa termoestable y sulfito de sodio, Van Soest et al., 1991), fibra detergente acida (ADF, método 973.18, AOAC, 1990) y lignina detergente ácida (LDA, Van Soest et al., 1991). La FDN y FDA se expresaron incluyendo las cenizas residuales. La materia orgánica (MO) se determinó como la diferencia entre el contenido de MS y cenizas; los carbohidratos no fibrosos (CNF) se calcularon utilizando la siguiente ecuación: $100 - (\% \text{ FDN} + \% \text{ PC} + \% \text{ EE} + \% \text{ cenizas})$ (NRC, 2001). La concentración de energía neta para la lactancia (EN_l) se calculó en

base a las ecuaciones de NRC (2001). La EN_i del heno de alfalfa se calculó como la media entre el valor obtenido por la ecuación de Linn y Martin (1989) y NRC (2001). La composición química de los alimentos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de los ingredientes y de la ración totalmente mezclada (TMR), medias con desvió estándar entre paréntesis y el número de observaciones (*n*).

Ítem	Composición nutricional			
	Silo maíz (<i>n</i> =12)	Heno alfalfa (<i>n</i> =12)	Concentrado (<i>n</i> =12)	TMR (<i>n</i> =12)
Materia seca (MS, %)	36,8 (0,7)	76,3 (1,6)	88,1 (0,5)	57,7 (2,6)
Materia Orgánica (% MS)	92,8 (0,6)	88,2 (0,9)	93,8 (0,1)	91,2 (0,6)
Proteína cruda (% MS)	7,7 (0,6)	16,4 (2,5)	20,8 (2,2)	14,3 (1,6)
Fibra detergente neutra (% MS)	35,1 (2,2)	59,1 (5,2)	11,8 (3,3)	32,5 (1,1)
Fibra detergente acida (% MS)	17,3 (0,8)	34,5 (2,1)	3,9 (0,9)	16,1 (0,9)
Carbohidratos no fibrosos (% MS)	46 (2,2)	11,4 (2,6)	58,1 (3,5)	41,4 (2,9)
Energía neta lactancia (Mcal/kg MS)	1,38	1,1	1,96	1,5

La base del concentrado comercial contenía (base MS): 80% de grano de maíz, 10% de harina de soja, 8% de salvado de trigo y el resto minerales y vitaminas.

Mediciones del consumo de materia seca de los alimentos

El consumo de materia seca (CMS) diaria se midió los días 2, 3, 4 y 5 de cada una de las 3 semanas de medición, cuando las vacas tenían 52, 64 y 78 DEL, en promedio, al comienzo de cada semana de medición.

El consumo por vaca por día se expresó como CMS total, que representa la suma del CMS de todos los alimentos consumidos. Para estimar el CMS de silo y de heno en las vacas en el tratamiento EF, se ofreció el silo en dos comederos (0,7 m de largo) por corral de cuatro vacas, y el heno picado se ofreció en un comedero (3,0 m por 1,2 m) por corral. El CMS se calculó como la diferencia entre MS ofrecida y la MS rechazada por corral.

El consumo de concentrado en el tratamiento de EF se midió como la diferencia entre la MS ofrecida y rechazada por vaca en la sala de ordeño y luego el consumo se

promedió para las 4 vacas agrupadas en cada corral. La cantidad de concentrado ofrecido en el tratamiento EF fue calculado para ser igual a la cantidad de concentrado ofrecido en el tratamiento TMR. Por consiguiente, el objetivo fue alcanzar una proporción similar de concentrados en la dieta en ambos grupos.

El TMR se ofreció en una pista de alimentación durante todo el experimento, pero durante las tres semanas de mediciones, la pista de alimentación se dividió en cuatro corrales para medir el consumo. El CMS se midió como la diferencia entre la MS ofrecida y rechazada por corral de cuatro vacas.

Los rechazos fueron recolectados de los comederos y pista de alimentación cada día, comenzando a las 0630 horas, inmediatamente antes de la entrega de alimento fresco a las 0700 horas. Las muestras de rechazo solo se usaron para determinar el peso fresco y el porcentaje de MS.

Comportamiento animal

El comportamiento de los animales fue registrado a partir de observaciones visuales utilizando un método de muestreo instantáneo en las vacas individuales (Martin y Bateson, 1993) con un método de *scan sampling* cada 10 minutos durante un período de 24 horas en todas las vacas. Las observaciones fueron realizadas por dos observadores, el día 5 de cada semana de medición, comenzando a las 0700 horas. Se asumió que cada actividad persistió durante el intervalo de 10 minutos. Las actividades de comportamiento de los animales se clasificaron en: comiendo (agarrar y masticar), rumiando (masticar bolos regurgitados de alimento), bebiendo y otras (no muestra ninguna de las otras actividades). La proporción de cada evento de comportamiento por hora se calculó como el número de observaciones de cada evento sobre el total de observaciones por hora.

Producción de leche y análisis de composición química de la leche

La producción individual de leche se registró en cada ordeño mediante un sistema de medición electrónico de leche (DeLaval International AB, Tumba, Suecia). La composición de la leche se evaluó a partir de cuatro submuestras de leche (50 ml cada

una) por vaca, recolectadas en cuatro ordeños consecutivos, el día 3 y 4 de cada semana de medición, usando una muestra obtenida de los medidores de leche (DeLaval International AB, Tumba, Suecia). Se obtuvo una muestra combinada por vaca por día, lo que resultó en dos muestras por vaca por semana experimental. Las muestras se analizaron para grasa, proteína y sólidos totales de la leche por espectrofotometría infrarroja (Milkoscan Modelo 4000, Foss Electric, DK-3400, Hillørod, Dinamarca). Las muestras también se usaron para determinar el conteo de células somáticas (CCS) por citometría de flujo (Fossmatic 5000; Foss Electric, Hillørod, Dinamarca).

La producción de leche corregida por energía (LCE) y estandarizada con 4% de grasa y 3,3% de proteína verdadera se calculó utilizando la siguiente fórmula (Auld et al., 2016):

$$\text{LCE (kg / d por vaca)} = \text{rendimiento de leche kg} \\ \times (376 \times \% \text{ de grasa} + 209 \times \% \text{ de proteína} + 948) / 3138$$

Peso corporal, score de condición corporal y metabolitos plasmáticos

Las vacas fueron pesadas después del ordeño de la mañana y antes de la hora de comida, usando una balanza electrónica (escala HA2000x, Magris, Rufino, Santa Fe, Argentina) al comienzo y al final del período experimental. En cada semana de medición, el score de condición corporal (SCC) fue registrado el día 1, por dos evaluadores entrenados, utilizando el sistema de puntuación basado en una escala de 5 puntos, según lo descrito por Wildman et al. (1982).

Las muestras de sangre fueron recolectadas de ocho vacas por tratamiento, el día 1 de cada semana de medición, inmediatamente después del ordeño de la tarde (1500 horas). Las muestras fueron recolectadas de la vena coccígea y se almacenaron en un tubo de 10 ml que contenía fluoruro de sodio (5 U / ml) y otro tubo de 10 ml sin anticoagulante. Las muestras fueron colocadas inmediatamente en un refrigerador portátil a 4 ° C y transportadas al laboratorio dentro de los 30 minutos posteriores a la recolección. El plasma se obtuvo por centrifugación (3.000 x g durante 15 min, 4 ° C) y se almacenó a -24 ° C hasta su posterior análisis. Las muestras para la determinación del suero se mantuvieron frías y se dejaron coagular. Las muestras de sangre se

centrifugaron y el suero se separó y se almacenó a -24°C . Las muestras fueron enviadas al laboratorio (Wiener Laboratory, Rosario, Argentina) para determinar las concentraciones de glucosa (glucosa enzimática en sangre) y nitrógeno de urea (urea enzimática en sangre).

El β hydroxibutirato (BHB) se midió utilizando un dispositivo de mano electrónico (Free Style Optium xceed, Abbott Diabetes Care, Ltd., Witney, Reino Unido) validado por Voyvoda y Erdogan (2010). Las concentraciones sanguíneas de BHB $\geq 1,2$ mmol / L fueron consideradas indicativas de cetosis subclínica.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados con SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). La significancia se declaró con valores de $P \leq 0,05$, mientras que valores de P entre $\geq 0,05$ y $< 0,10$ fueron considerados tendencia. Antes de los análisis, los datos fueron evaluados para verificar la normalidad, utilizando el procedimiento UNIVARIATE de SAS. Todos los supuestos de normalidad se cumplieron para todos los datos. Los residuos fueron comparados para determinar la homogeneidad de la varianza.

Todos los datos analizados corresponden a las 3 semanas de medición. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el consumo de materia seca y de nutrientes, se promediaron los datos por corral por semana y se analizaron utilizando el procedimiento MIXTO de SAS, tratando la semana como una medida repetida y el corral como la unidad experimental ($n = 4$). El modelo incluyó los efectos fijos del tratamiento (T), la semana (S) de muestreo, la interacción entre el tratamiento y la semana y el efecto aleatorio del corral.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la producción de leche, composición de la leche, comportamiento animal y metabolitos plasmáticos, los datos se promediaron por semana de muestreo y se analizaron usando el procedimiento MIXTO de SAS, tratando la semana como una medida repetida y la vaca como unidad experimental ($n = 16$). El modelo incluyó los efectos fijos del tratamiento, la semana de muestreo, el corral y la interacción entre el tratamiento y la semana, y el efecto aleatorio de la vaca.

La simetría compuesta fue seleccionada como la estructura de covarianza sobre la base del mejor ajuste según el criterio de Akaike. La declaración LS MEANS se utilizó para analizar las diferencias entre los tratamientos. Los datos de recuento de células somáticas se transformaron en \log_{10} .

Para evaluar el efecto del tratamiento sobre los parámetros PV y SCC, los datos se analizaron utilizando el procedimiento TTEST de SAS.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre los eventos de comportamiento de alimentación, cada evento fue expresado como una proporción del total de observaciones por hora, se utilizó la prueba de Chi-cuadrado, con la significancia declarada en $P \leq 0,025$.

Hubo datos faltantes de una vaca durante la última semana de medición (semana tres) en el tratamiento de TMR, debido a problemas de salud no relacionados con el tratamiento per se.

RESULTADOS Y DICUSIÓN

Datos meteorológicos

La precipitación acumulada fue de 322 mm en el período experimental (5 de abril al 27 de mayo), lo cual fue un 41% superior al promedio del mismo período en los 10 años previos (2006-2016).

La temperatura media mensual del aire durante abril y mayo fue de 18,9 y 14,4 ° C durante el período experimental, respectivamente. Las temperaturas medias promedio del período anterior de 10 años (2006-2016) fueron 18,9 y 15,3 ° C, para abril y mayo, respectivamente.

Consumo de materia seca de los alimentos y consumo de nutrientes.

El CMS total fue similar entre tratamientos (22,3 kg MS / día; $P > 0,05$; Tabla 2), lo cual está de acuerdo con estudios previos que compararon el TMR versus sistemas de alimentación por componentes separados, con vacas que produjeron más de 30 kg de leche / d (Gordon et al., 1995 y Yan et al., 1998).

No hubo interacción entre el tratamiento y la semana experimental para el CMS total ($P > 0,05$; Tabla 2). Las relaciones F: C fueron 60:40 y 57:43 ($P < 0,05$; Tabla 2) para EF y TMR, respectivamente. Hubo una interacción significativa entre el tratamiento y la semana experimental para la relación F: C ($P < 0,05$; Tabla 2). Las vacas en el tratamiento EF tuvieron una relación F: C más alta que las vacas en el tratamiento TMR durante la segunda y tercera semana, mientras que no hubo variación entre los tratamientos en la primera semana.

Hubo una interacción significativa entre el tratamiento y la semana experimental para el CMS de los alimentos componentes ($P < 0,05$; Tabla 2). Comparando entre períodos y dentro de los tratamientos, las vacas en EF tuvieron un mayor CMS de ensilado en comparación con las vacas en TMR durante todas las semanas experimentales, mientras que EF tuvo menos CMS de heno y concentrado en comparación con TMR durante la segunda y tercera semana experimental y CMS de heno y concentrado fue similar entre tratamientos en la primera semana.

En comparación con el tratamiento TMR, las vacas del tratamiento EF seleccionaron una dieta que contenía más ensilado de maíz (mayor contenido energético) y menos heno de alfalfa (menor contenido energético), lo que concuerda con lo observado por Kowsar et al. (2008). Sin embargo, el consumo total de energía (EN) fue igual en ambos grupos de nuestro estudio, posiblemente debido al mayor consumo de concentrados en el tratamiento TMR ($P < 0,05$; Tabla 2). La proporción de ensilaje de maíz, heno de alfalfa y alimento concentrado sobre el CMS total fue 0,46, 0,15, 0,40 y 0,31, 0,26, 0,43 para EF y TMR, respectivamente.

Las vacas en tratamiento EF tuvieron la oportunidad de seleccionar alimentos, como heno de alfalfa y ensilaje de maíz, lo que resultó en diferentes proporciones de alimentos consumidos en cada tratamiento. Esto refleja la capacidad de los rumiantes para seleccionar alimentos y regular su consumo de acuerdo con sus requerimientos (Forbes et al., 2007) y preferencias, desempeñando la vaca un papel activo en su alimentación (Provenza et al., 2003; Villalba et al., 2010).

Hubo una interacción significativa entre el tratamiento y la semana experimental para las proporciones de PC, FDN y FDA consumidas ($P < 0,05$; Tabla 2). La proporción de PC consumida fue mayor en TMR en comparación con EF durante la

segunda y tercera semana experimental, mientras que la proporción de PC fue similar entre tratamientos en la primera semana experimental. Las proporciones de FDN y FDA consumidas fueron más altas para las vacas en el TMR que para las vacas en el EF durante todas las semanas experimentales.

El consumo de EN_i (Mcal / día) fue similar entre los tratamientos (34,9 Mcal / d; $P > 0,05$) y la concentración de la dieta energética (EN_i, Mcal / kg MS) fue ligeramente superior para EF que para TMR ($P < 0,05$). El mayor consumo de PC en el tratamiento TMR posiblemente se debió a un mayor consumo de concentrado (con alto contenido de PC) y un menor consumo de ensilado de maíz (con bajo contenido de PC).

Similar composición química fue observada en sucesivas muestras de ensilaje de maíz luego de abrir la bolsa del silo; lo que sugiere que la calidad del ensilaje de maíz se mantuvo durante el experimento en el tratamiento EF (ver bajo DE para parámetros de ensilaje en la Tabla 1).

Tabla 2. Consumo de materia seca (CMS) y consumo de nutrientes en vacas lecheras en una ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (n).

Ítem ^A	Tratamiento		EED	P-valor		
	EF (n=4)	TMR (n=4)		Tratamiento	Semana	T × S
Composición química						
F:C	60:40	57:43	0,27	0,003	<0001	0,0001
PC (%)	14,7	16	0,11	0,001	<0001	0,0008
FDN (%)	29,4	31,3	0,2	0,003	<0001	0,02
FDA (%)	14,6	15,9	0,19	0,006	0,007	0,02
EN _i (Mcal/kg)	1,58	1,56	0,004	0,02	0,003	0,09
CMS (kg/d)						
Concentrado	8,86	9,56	0,24	0,01	0,003	0,003
Silaje maíz	10,1	7,1	0,19	0,0006	<,0001	0,0004
Heno alfalfa	3,25	5,77	0,22	0,001	0,01	0,003
Consumo total	22,2	22,4	0,36	0,59	<,0001	0,4
Consumo nutrientes						
MO (kg/d)	20,5	20,6	0,33	0,82	<,0001	0,45
FDN (kg/d)	6,5	6,9	0,13	0,04	0,005	0,11
FDA (kg/d)	3,2	3,6	0,12	0,02	0,0008	0,06
CNF (kg/d)	10,4	9,9	0,16	0,04	<,0001	0,92
PC (kg/d)	3,3	3,6	0,06	0,01	<,0001	0,09

EN ₁ (Mcal/d)	34,9	34,9	0,52	0,9	<,0001	0,46
--------------------------	------	------	------	-----	--------	------

^A CMS: consumo de materia seca; MO: materia orgánica; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra de detergente ácido; CNF: carbohidratos no fibrosos; PC: proteína bruta; EN₁: energía neta para la lactancia; relación F: C: forraje: concentrado

Comportamiento animal

El tiempo dedicado al ordeño y traslado de las vacas dos veces al día desde el corral a la sala de ordeño fue de 19 min /d y 30 min / d, respectivamente. Todos los datos relacionados con el comportamiento se muestran en la Tabla 3 y la Figura 1.

Se observó una interacción significativa entre el tratamiento y la semana experimental para el tiempo de comida y rumia, expresado como min por día, min por kg de MS y min por kg de FDN ($P < 0,05$; Tabla 3). Los tiempos diarios de comida y rumia (min por día) fueron similares entre tratamientos, 293 y 446 min / d, respectivamente ($P > 0,05$). Las vacas en el tratamiento EF pasaron más tiempo rumiando (min por kg de FDN) que las vacas en el tratamiento TMR durante la segunda y tercera semana experimental, con un tiempo similar entre tratamientos en la primera semana.

El mayor tiempo de rumia (por kg de FDN) de las vacas en el tratamiento EF indicaría la capacidad del silaje para promover la rumia cuando los alimentos se ofrecen por separado, de acuerdo con los resultados de Maekawa et al. (2002), quienes informaron un mayor tiempo de rumia cuando el silaje de cebada se ofrecía por separado, en comparación con el mismo silaje incorporado en un TMR. El tiempo de rumia está también influenciado por el tamaño de partícula de la dieta, por lo que una dieta ofrecida como TMR contribuye a reducir el tamaño de partícula y esto disminuye el tiempo de rumia por kg de FDN (Beauchemin, 2018) en comparación con el forraje ofrecido por separado.

Hubo una interacción significativa entre el tratamiento y la semana experimental para el tiempo de bebida ($P < 0,05$; Tabla 3). Las vacas en el tratamiento EF tuvieron un tiempo de bebida más prolongado que las vacas en el tratamiento TMR durante la segunda y tercera semana experimental, con un tiempo de bebida similar entre tratamientos en la primera semana (Figura 1C). Este resultado no era esperado para el

tratamiento EF, el cual tenía un menor contenido de MS en la dieta que el tratamiento TMR. Kume et al. (2010) informaron que el consumo de agua aumentó cuando aumentó la MS en la dieta, sin embargo, la correlación entre estas variables fue baja en dicho estudio. El comportamiento de bebida encontrado en nuestro estudio está de acuerdo con Cardot et al. (2008), quien sugirió que la alimentación y la bebida son actividades sincronizadas, y que el comportamiento de bebida está correlacionado con los eventos de alimentación (Cardot et al., 2008). Por lo tanto, como se muestra en las Figuras 1A y 1C, tanto la actividad de comida como la de bebida se concentraron en el momento en que se ofreció el TMR en dicho tratamiento, y más distribuidas en el tiempo en el tratamiento EF, esto podría haber llevado a un mayor consumo de agua en las vacas EF, ya que se observó que las vacas bebían con más frecuencia que las vacas en el tratamiento TMR. Al inicio de ambas sesiones de alimentación (0700 y 1500 horas), se observó una mayor proporción de vacas comiendo en el tratamiento TMR que en el tratamiento EF (Figura 1A).

La mayor parte de los eventos de rumia ocurren durante la noche (1900 a 0600 horas) (Figura 1B). Las vacas en EF mostraron un patrón más estable de comida y bebida, es decir, picos más bajos, tanto de comida (Figura 1A) como de bebida (Figura 1C) que las vacas en TMR. Esto puede ser una consecuencia de las diferencias del entorno competitivo en el momento de la alimentación, lo que puede llevar a las vacas a modificar el comportamiento de alimentación (Hosseinkhani et al. 2008). Es posible que las vacas alimentadas con un mixer solo dos veces al día (como en el tratamiento TMR) fueran más estimuladas para comer inmediatamente después de que se les ofreció alimento y, por lo tanto, mostraron un comportamiento de alimentación más competitivo que las vacas en EF (DeVries et al. 2005). Los tiempos altamente competitivos en el comedero en vacas lechera ocurren cuando se suministra el alimento fresco (DeVries et al., 2005).

Tabla 3. Comportamiento animal en vacas lecheras en dos sistemas de alimentación: sistemas de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (FE), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (*n*)

Ítem	Tratamiento		EED	P-valor		
	EF (<i>n</i> =16)	TMR (<i>n</i> =16)		Tratamiento	Semana	T × S
Comiendo						
min/d	300	283,6	19,5	0,43	0,002	0,0001
min/kg de MS ^a	13,5	12,7	0,95	0,41	0,001	<,0001
min/kg de FDN ^b	46,5	40,4	3,3	0,09	0,0002	<,0001
Rumiando						
min/d	463,6	429,9	21,7	0,13	0,03	0,001
min/kg de MS	21	19,5	1,06	0,15	<,0001	0,0002
min/kg de FDN	71,6	61,8	3,7	0,01	0,20	<,0001
Bebiendo (min/d)	18,3	12	2,2	0,006	0,39	0,01
Otras actividad (min/d)	570	571,5	33,7	0,98	0,01	<,0001

^aMS: materia seca

^bFDN: fibra detergente neutra

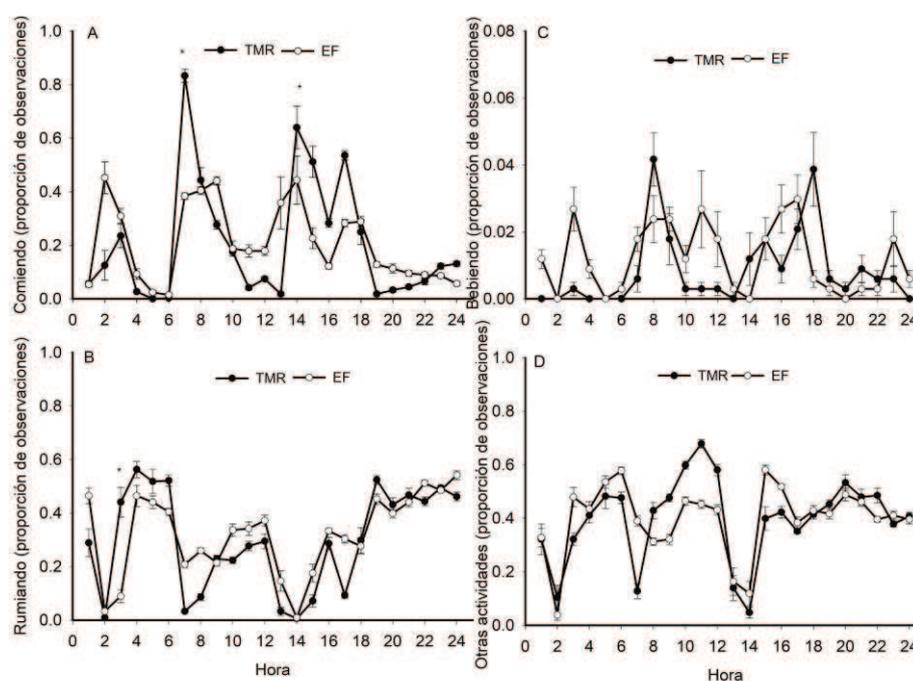


Figura 1. Eventos de comportamiento animal como una proporción del total de observaciones por hora para vacas alimentadas con un sistema TMR (●) o EF (○):

comiendo (A), rumiando (B), bebiendo (C) y otras actividades (D). En cada hora, la significancia se define por * $P \leq 0,025$ y las barras de error representan EEM. EF = sistema simplificado; TMR = ración totalmente mezclada.

Producción de leche y composición química de la leche

La producción de leche y la composición de la leche se muestran en la Tabla 4. No hubo interacción entre el tratamiento y la semana experimental para la producción de leche y la composición de la leche ($P > 0,05$). Los rendimientos de leche, LCE, grasa, proteína y sólidos totales fueron similares ($P > 0,05$) entre tratamientos. Esto coincide con lo reportado en estudios previos que comparan TMR y sistemas de alimentación de componentes separados con vacas que producen menos de 28 kg de leche / día (Holter et al. 1977; Phipps et al. 1984; Nocek et al. 1986; Agnew et al. 1996). Sin embargo, estudios que involucraron vacas lecheras que producían más de 28 kg de leche / día reportaron mayores rendimientos de leche, grasa o proteína para el tratamiento de TMR que para el tratamiento de componentes separados (Gordon et al. 1995; Yan et al. 1998). Gordon y col. (1995), revisando experimentos previos, concluyó que las respuestas de producción de leche al tratamiento TMR fueron mayores cuando la proporción de concentrado en la dieta aumentó hasta 0,6, para vacas de alto rendimiento en la lactancia temprana. Estas proporciones de concentrado reportadas, son mayores a la proporción de 0,40 y 0,42 utilizadas en los tratamientos EF y TMR del presente estudio.

La capacidad de las vacas para seleccionar una dieta de acuerdo con sus preferencias puede haber permitido que las vacas en EF lograran un rendimiento de leche similar al TMR, a pesar de las ventajas de las dietas mezcladas del tratamiento TMR, como se sugiere en estudios previos. Además, la proporción relativamente baja de concentrados utilizados en nuestro experimento (< 42%), que fue relativamente baja en comparación con experimentos similares, puede haber establecido un límite para la producción de leche de las vacas TMR.

La concentración de proteína de la leche fue mayor en el tratamiento TMR que en el EF, lo que podría estar asociado con una mejor utilización de la proteína (sincronización de los nutrientes) en este tratamiento (Ferland et al., 2018). No se

detectaron diferencias ($P > 0,05$) para la concentración de grasa de la leche, la concentración de sólidos totales de la leche y el CCS entre tratamientos.

El coeficiente de variación de la producción diaria de leche durante el período experimental fue menor para las vacas en EF que para las en TMR (22 vs. 30%, respectivamente, datos no mostrados). Esto podría reflejar indirectamente una menor variación de CMS entre las vacas en el tratamiento EF. Patrones de consumo más competitivos podrían resultar en una mayor variación de CMS entre las vacas (Beauchemin, 2018).

Tabla 4. Producción y composición de la leche en vacas lecheras en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (n)

Ítem	Tratamiento		EED	P-valor		
	EF (n=16)	TMR (n=16)		Tratamiento	Semana	T × S
Rendimiento (kg/d)						
Leche	37,30	33,00	2,90	0,15	0,52	0,68
LCE ^a	34,90	30,40	2,70	0,11	0,99	0,57
Grasa	1,33	1,14	0,12	0,13	0,21	0,84
Proteína verdadera	1,16	1,05	0,09	0,19	0,24	0,25
Sólidos totales	4,60	3,98	0,36	0,10	0,83	0,51
Composición leche (%)						
Grasa	3,55	3,65	0,28	0,71	0,12	0,59
Proteína	3,10	3,28	0,09	0,04	0,003	0,12
Sólidos	12,30	12,30	0,33	0,86	0,08	0,23
CCS ^b (log ₁₀ CCS)	5,19	5,39	0,24	0,41	0,63	0,60

^aLCE: leche corregida por energía

^bCCS: conteo de células somáticas, expresado como Log₁₀ (CCS/1000)

Peso vivo, score de condición corporal y metabolitos plasmáticos

No hubo diferencias en el cambio PV y el cambio de SCC de las vacas entre tratamientos ($P > 0,05$; Tabla 5) durante el periodo experimental. No hubo interacción entre el tratamiento y la semana experimental para los metabolitos plasmáticos ($P > 0,05$; Tabla 5). Las concentraciones de nitrógeno ureico en plasma, BHB y las

concentraciones de glucosa en sangre no difirieron ($P > 0,05$) entre los tratamientos. Esto concuerda con estudios previos que mostraron la falta de diferencias en PV, SCC y BHB entre tratamientos EF y TMR (Nocek et al., 1986; Gordon et al., 1995 y Ferris et al., 2006).

Tabla 5. Cambios en el peso vivo (PV) y la puntuación de la condición corporal (SCC) y metabolitos plasmáticos de vacas lecheras en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR) y sistema de alimentación simplificado (EF), medias de mínimos cuadrados, error estándar de la diferencia (EED) y número de observaciones (n)

Ítem	Tratamiento		EED	P-valor		
	EF (n=16)	TMR (n=16)		Tratamiento	Semana	T × S
SCC (1 a 5)						
SCC inicial	2,71	2,73	0,1	0,83	-	-
SCC final	2,53	2,59	0,13	0,53	-	-
SCC cambio	-0,18	-0,14	0,12	0,74	-	-
PV (kg)						
PV inicial	613,8	620,7	34	0,84	-	-
PV final	610,3	649,6	28,7	0,24	-	-
PV cambio	-3,6	28,9	15,4	0,29	-	-
Metabolitos plasma	(n=8)	(n=8)				
Glucosa (mg/dl)	49,5	50,3	1,65	0,65	0,76	0,52
Urea (mg/dl)	21,6	23,4	1,92	0,38	0,0002	0,96
BHB ^a (mmol/L)	0,66	0,62	0,1	0,72	0,36	0,69

^a BHB: β hydroxybutirato

CONCLUSIONES

En el presente estudio, el sistema de alimentación no tuvo ningún efecto sobre la producción de leche, el rendimiento de grasa y proteína, el consumo de energía total, el consumo de materia seca total, el peso vivo, el score de condición corporal, los metabolitos plasmáticos y el tiempo de comida y el tiempo de rumia. Las vacas en el sistema EF tuvieron un mayor consumo de carbohidratos no fibrosos, menor consumo de proteína cruda y fibra detergente neutra y mayor tiempo de bebida que las vacas en el sistema TMR.

Dado que el sistema de alimentación no tuvo efecto sobre la producción de leche por vaca, el sistema EF es una alternativa atractiva a los sistemas de alimentación TMR tradicionales, siempre que los costos de las operaciones de alimentación se reduzcan efectivamente en EF.

Investigaciones futuras sobre este sistema de alimentación simplificado debería explorar la performance en lactancia completa, la inclusión de pasturas en la dieta y la cuantificación de la demanda laboral y los costos asociados con la alimentación.

REFERENCIA

- Agnew KW, Mayne CS, Doherty JG. 1996. An examination of the effect of method and level of concentrate feeding on milk production in dairy cows offered a grass silage based diet. *Anim. Sci.* 63:21–31. <https://doi.org/10.1017/S1357729800028241>
- AOAC 1990. Official methods of analysis. 15th edn. Association of Official Analytical Chemists: Arlington, VA.
- Auldist MJ, Marett LC, Greenwood JS, Wright MM, Hannah M, Jacobs JL, Wales WJ. 2016. Milk production responses to different strategies for feeding supplements to grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:1–15. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9834>
- Barros T, Quaassdorff MA, Aguerre MJ, Colmenero JO, Bertics SJ, Crump PM, Wattiaux MA. 2017. Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization. *J. Dairy Sci.* 100: 5434-5448.
- Beauchemin KA. 2018. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101: 4762-4784.
- Cardot V, Le Roux Y, Jurjanz S. 2008. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *J Dairy Sci.* 91: 2257-2264.
- DeVries TJ, Von Keyserling MAG, Beauchemin KA. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3553–3562.
- Fan YK, Lin YL, Chen KJ, Chiou PWS. 2002. Effect of concentrate feeding frequency versus total mixed ration on lactational performance and ruminal characteristics of Holstein cows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 15: 658–664. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.658>
- FASS. 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. 3rd ed. FASS, Champaign, IL.
- Ferland MC, Guesthier MA, Cue RI, Lacroix R, Burgos SA, Lefebvre D, and Wade K M 2018. Effect of feeding system and grain source on lactation characteristics and milk components in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 101: 8572-8585.

- Ferris CP, Frost JP, Binnie RC, Patterson DC. 2006. Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems. *Grass Forage Sci.* 61:304–314. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00534.x>
- Forbes JM. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nut. Res. Rev.* 20:132–146. <https://doi.org/10.1017/S0954422407797834>
- Grant RJ, Albright JL. 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84(E. Suppl.): E156-E163.
- Gordon FJ, Patterson DC, Yan T, Porter MG, Mayne CS, Unsworth EF. 1995. The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilisation of energy and nitrogen. *Animal Sci.* 61: 199–210. <https://doi.org/10.1017/S1357729800013722>
- Ho CKM, Heard JW, Wales WJ, Jacobs JL, Doyle PT, Malcolm B. 2018. Evaluating the economics of concentrate feeding decisions in grazing dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 58:1329–1340. <https://doi.org/10.1071/AN16122>
- Holter JB, Urban WE, Hayes H, Davis HA. 1977. Utilisation of diet components fed blended or separately to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 60:1288-1293. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)84024-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)84024-1)
- Hosseinkhani A, DeVries TJ, Proudfoot KL, Valizadeh R, Veira DM, Von Keyserlingk MAG. 2008. The effects of feed bunk competition on the feed sorting behavior of close-up dry cows. *J. Dairy Sci.* 91:1115–1121. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0679>
- ISO 9622 IDF 141. 2013. Milk and Liquid Milk Products—Guidelines for the Application of Mid-Infrared Spectrometry.
- Kowsar R, Ghorbani GR, Alikhani M, Khorvash M, Nikkhah A. 2008. Corn silage partially replacing short alfalfa hay to optimize forage use in total mixed rations for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 91: 4755-4764.
- Kume S, Nonaka K, Oshita T, Kozakai T. 2010. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science* 128: 46-51.

- Lazzarini B, Lopez-Villalobos N, Lyons N, Hendrikse L, Baudracco J. 2018. Productive, economic and risk assessment of grazing dairy systems with supplemented cows milked once a day. *Animal* 12:1077-1083.
- Lazzarini B, Baudracco J, Tuñon G, Gastaldi L, Lyons N, Quattrochi H, Lopez-Villalobos N. 2019. Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. *Applied Animal Science* 35:426-432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>
- Maekawa M, Beauchemin KA, Christensen DA. 2002a. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1165–1175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74179-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9)
- Martin P, Bateson P. 1993. *Measuring behavior: an introductory guide*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nocek JE, Steele RL, Braund DG. 1986. Performance of dairy cows fed forage and grain separately versus a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 69: 2140–2147. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80646-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80646-4)
- NRC 2001. *Nutrient Requirement of Dairy Cattle*. National Academy Press: Washington, DC.
- Pezzuolo A, Chiumenti A, Sartori L, Da Borso F. 2016. Automatic feeding system: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. In *Proceedings of 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development*. pp. 882-887. (Jelgava, Latvia).
- Phipps RH, Bines JA, Fulford RJ, Weller RF. 1984. Complete diets for dairy cows: a comparison between complete diets and separate ingredients. *J. Agric. Sci.* 103:171–180. <https://doi.org/10.1017/S0021859600043434>
- Provenza FD. 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives* 48:2-17.

- Provenza FD, Villalba JJ, Dziba LE, Atwood SB, Banner RE. 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Rumin. Res.* 49:257–274. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00143-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00143-3)
- SAS Institute.1999. *Users Guide: Statistics, Version 6, 4th edition.* SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Schingoethe DJ. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:10143-10150. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12967>
- Tangorra FM, Calcante A. 2018. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: results from a field test. *Journal of Agricultural Engineering* 49. doi:10.4081/jae.2018.869
- Thanh LP, Suksombat W. 2015. Milk production and income over feed costs in dairy cows fed medium-roasted soybean meal and corn dried distiller's grains with solubles. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28:519-29. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0685>
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597.
- Villalba JJ, Provenza FD, Manteca X. 2010. Links between ruminants' food preference and their welfare. *Animal* 4:1240-1247. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000467>
- Voyvoda H, Erdogan H. 2010. Use of a hand-held meter for detecting subclinical ketosis in dairy cows. *Vet. Sci.* 89:344–351. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.04.007>
- Wildman EE, Jones GM, Wagner PE, Boman RL, Troutt HG, Lesch TN.1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65:495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6)
- Yan T, Patterson DC, Gordon FJ.1998. The effect of two methods of feeding the concentrate supplement to dairy cows of high genetic merit. *Anim. Sci.* 67:395-403. <https://doi.org/10.1017/S1357729800032793>

CAPÍTULO 4

Modelación de curvas de lactancia para
vacas Holstein bajo diferentes sistemas de
alimentación

RESUMEN

Los sistemas de alimentación tienen una marcada influencia sobre la forma de la curva de lactancia de vacas lecheras, así como también sobre el rendimiento y la composición de la leche. El objetivo de este estudio fue modelar las curvas de lactancia para comparar el rendimiento de leche, grasa y proteína, de vacas Holstein bajo diferentes sistemas de alimentación en la lactancia completa. Se creó una base de datos utilizando registros diarios de producción de leche individual y un análisis mensual e individual del contenido de grasa butirosa y proteína bruta de la leche, de vacas alimentadas en un sistema TMR (total mixed ration, por su sigla en inglés) y en un sistema de alimentación simplificado (EF, easy feeding, por su sigla en inglés) desde el día 1 de lactancia hasta el final de la misma. Se modelaron las curvas de lactancia desde el parto hasta los 305 días utilizando dos modelos matemáticos: el polinomio de Legendre de tercer orden y la función exponencial de Wilmink. El modelo de polinomios resultó el modelo con mejor ajuste, para las curvas de lactancias de cada vaca en los sistemas de alimentación evaluados. La evaluación de las curvas de lactancia muestra que el sistema de alimentación no afectó los rendimientos de leche, grasa y proteína en leche durante la lactancia temprana, periodo residual y lactancia completa. El modelo de polinomios de tercer orden resultó un modelo adecuado para predecir las curvas de lactancia de vacas Holstein tanto en el sistema de alimentación TMR como en el sistema de alimentación EF.

INTRODUCCIÓN

El uso de modelos matemáticos es una herramienta útil para la simulación de las curvas de lactancia (Macciotta et al., 2011; Olori et al., 1999). Los modelos permiten imitar el proceso de producción de leche de una vaca o de un rodeo lechero en diferentes escenarios, y detectar desviaciones del rendimiento esperado, así como también predecir rendimientos futuros a partir de registros de lactancias incompletas (Adediran et al., 2011). Los cambios en la forma de la curva de lactancia, pueden ser sensibles y específicos para medir los efectos a corto plazo, como la alimentación (Ehrlich, 2013). Estimaciones precisas del rendimiento son útiles para predecir los ingresos de las ventas de leche, predecir los costos asociados con la producción y evaluar las alternativas de manejo (Cole et al., 2011).

Los sistemas de alimentación pueden tener influencia sobre la forma de la curva de lactancia en vacas lecheras (Jørgensen et al., 2016), así como también sobre el rendimiento y la composición de la leche (Ferland et al., 2018). La alimentación durante la lactancia temprana tiene un efecto inmediato sobre la producción de leche, y también puede tener un efecto residual, es decir sobre el rendimiento de leche a lo largo de toda la lactancia (Jørgensen et al., 2016).

Estudios realizados en lactancia temprana y lactancia media, en vacas lecheras alimentadas con diferentes sistemas de alimentación mostraron mayores rendimientos de leche cuando se utilizó una TMR (total mixed ration, por su sigla en inglés) en comparación con un sistema de alimentación de componentes separados, i.e., cada ingrediente de la dieta se ofreció en forma separada (Gordon et al., 1995, Yan et al., 1998). Sin embargo, algunos estudios que compararon sistemas TMR y sistemas de alimentación con componentes separados, en lactancia temprana y media no reportaron diferencias en el rendimiento de leche para ambos sistemas de alimentación (Phipps et al., 1984; Nocek et al., 1986 y Agnew et al., 1996; Ferris et al., 2006).

Los estudios realizados hasta el momento evaluaron el efecto inmediato de los sistemas de alimentación sobre la producción y composición de la leche durante la lactancia temprana y media.

Los objetivos de este estudio fueron i) modelar curvas de lactancia con dos ecuaciones para seleccionar un modelo de mejor ajuste y ii) comparar el rendimiento de

leche, grasa y proteína, en vacas Holstein bajo diferentes sistemas de alimentación en la lactancia completa.

El estudio se plantea sobre las hipótesis de que i) existe diferencia en la precisión de la predicción de curva de lactancia entre los dos modelos matemáticos evaluados y ii) las vacas alimentadas con un sistema EF y TMR en lactancia temprana tienen similar rendimiento y similar composición de leche en la lactancia completa.

MATERIALES Y METODOS

Fuente de información

Se utilizaron registros productivos correspondientes a un experimento realizado en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que utilizó 32 vacas Holstein en lactancia temprana, alimentadas bajo dos sistemas de alimentación diferentes (Capítulo 3, Cuffia et al., 2020). El experimento se realizó desde el momento inmediatamente posterior al parto hasta 80 ± 16 días de lactancia promedio. El peso vivo promedio de las vacas en el inicio de la lactancia fue 618 ± 84 kg de peso vivo y el número de lactancias promedio fue $2,6 \pm 1,2$.

Sistemas de alimentación evaluados

Los dos sistemas de alimentación que se evaluaron fueron: un sistema TMR y un sistema de alimentación simplificado (EF). En el sistema TMR los componentes de la dieta se mezclaron mecánicamente en un mixer y luego se suministraron a las vacas dos veces al día en una pista de alimentación. En el tratamiento EF se les ofrecieron los mismos componentes de la dieta que el en tratamiento TMR, ofrecidos por separado. El concentrado granulado se suministró a las vacas individualmente en cantidades iguales durante el ordeño, dos veces al día, con un sistema de alimentación automático.

El ensilaje de maíz se ofreció, para un consumo *ad libitum*, directamente de la bolsa de silo de 270 cm de diámetro y 60 m de longitud, con tres orificios abiertos en un espacio de 200 cm de la bolsa de silo (tres orificios a cada lado de la bolsa). Por lo tanto, las 16 vacas tenían 4 m para acceder a la bolsa de silo desde 6 orificios. Se colocó un boyero eléctrico para mantener el cuerpo de las vacas a 30 cm de la pared de ensilaje. Se

ofreció heno de alfalfa para un consumo *ad libitum*, en rollos colocados dentro de una estructura de metal, una vez por semana. Durante el periodo experimental las vacas fueron alimentadas con una dieta compuesta por heno de alfalfa (25,6%), silo de maíz (31,7%) y alimento concentrado (42,7%). Más detalles sobre el experimento se pueden encontrar en el Capítulo 3 (Cuffia et al., 2020).

Luego del periodo experimental las vacas de ambos tratamientos fueron manejadas en un único rodeo y recibieron la misma una dieta bajo un sistema de alimentación TMR desde el día 81 post-parto hasta el final de la lactancia. La dieta TMR posterior al periodo experimental estuvo compuesta por silo de maíz (60%), heno de alfalfa (9%) y concentrados (31%).

Registros productivos

Se creó una base de datos utilizando los registros diarios de producción de leche individual de las 32 vacas que participaron del experimento (Capítulo 3, Cuffia et al., 2020), desde el día 1 de lactancia hasta el final de la misma. La producción diaria de leche fue registrada por un sistema electrónico de medición de la leche (DeLaval International AB, Tumba, Suecia). Los registros también incluyeron un análisis mensual e individual del contenido de grasa butirosa (GB) y proteína bruta (PB) de la leche.

Predicción de la curva de lactancia

Utilizando los registros productivos se modelaron las curvas de lactancia desde el parto hasta los 305 días. Para estimar los parámetros de las curvas de lactancias por vaca se utilizaron dos modelos matemáticos: el polinomio de Legendre de tercer orden (Kirkpatrick et al. 1990) y el modelo propuesto por Wilmink (1987).

Modelo polinomial:

$$Y_t = a_0 \times P_0 + a_1 \times P_1 + a_2 \times P_2 + a_3 \times P_3$$

Donde Y_t es el nivel de producción medido en el día t de la lactancia después del parto, a_i son los coeficientes de regresión, P_i son las funciones normalizadas a x , que se estandariza a la unidad de tiempo descrita por: $x = -1 + 2 \left((t - t_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}) \right)$ donde, $t_{\min} = 0$ d y $t_{\max} = 305$ días.

Modelo descrito por Wilmink:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 e^{-kt}$$

Donde Y_t representa el rendimiento de leche en el día t de lactancia, el tiempo t está en un intervalo de tiempo, el parámetro β_0 está asociado con el nivel de producción, β_1 con la disminución de la producción después del rendimiento máximo y β_2 con el aumento de la producción antes del rendimiento máximo y k es un parámetro asociado con el tiempo de rendimiento máximo.

Selección del mejor modelo de predicción

Se obtuvieron las estimaciones de los parámetros para cada uno de los modelos y para cada vaca utilizando SAS (versión 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC). Se evaluó la capacidad de cada modelo para ajustar los valores predichos a los valores reales para leche, grasa y proteína, utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike, 1974). Un valor numérico menor de AIC indica un mejor ajuste de los datos.

Evaluación del ajuste del modelo de predicción seleccionado

Para medir la precisión y exactitud del modelo seleccionado para la predicción de la curva de lactancia, se utilizaron el error de predicción relativo (RPE; relative prediction error; Fuentes-Pila et al., 2003) y el coeficiente de correlación de concordancia (CCC; Lin, 1989). El RPE mide la precisión del modelo y se define como la relación entre la raíz cuadrada del error medio de predicción al cuadrado (MSPE; mean square prediction error) y el promedio de los valores actuales (corresponden a los valores reales obtenidos por la medición diaria de leche) (Fuentes-Pila et al., 2003). El error medio de predicción al cuadrado (MSPE) fue definido por Fuentes-Pila et al., (1996) como:

$$MSPE = \frac{1}{n} \sum (A - P)^2$$

Donde n es el número de pares de valores de A y P siendo comparados, A son los valores actuales y P los valores predichos.

El CCC fue calculado como $CCC = \rho \times C_b$ donde ρ es el coeficiente de regresión de Pearson y C_b un factor de corrección de sesgo. El coeficiente de correlación de Pearson refleja la precisión, es decir, el grado en que los valores predichos y los valores actuales se agrupan sobre la línea de regresión. El factor de corrección de sesgo refleja exactitud, es decir, el grado en que la línea de regresión se adhiere a la línea 45° a través

del origen. La escala de Landis and Koch (1977) fue usada para describir el grado de concordancia: 0,20 – 0,40 “justa”; 0,41-0,60 “moderada”; 0,61-0,80 “sustancial” y 0,81-100 “casi perfecta”.

Predicción de las curvas de lactancia para diferentes sistemas de alimentación

Se estimaron los rendimientos (kg/vaca/día) de leche, grasa y proteína para cada vaca desde el día 1 hasta los 305 días de la lactancia, con el modelo de mejor ajuste. Luego, se utilizó el procedimiento UNIVARIATE de SAS (versión 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC) para obtener la media y el error estándar para cada parámetro de las curvas de lactancia de los dos sistemas de alimentación evaluados.

Para comparar los rendimientos predichos de leche, grasa y proteína para los dos sistemas de alimentación se utilizó PROC MIXED en SAS. El modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento y efecto aleatorio de la vaca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección del modelo de predicción de curvas de lactancia

El modelo de polinomios proporcionó un menor AIC que el modelo de Wilmink (1987), por lo tanto, se utilizó el modelo de polinomio para estimar el rendimiento en leche, GB y PB.

Evaluación del ajuste del modelo de polinomios

Se evaluaron la exactitud y precisión del modelo de polinomios para predecir las curvas de lactancias a través de RPE y la concordancia de Lin para los sistemas de alimentación EF y TMR. El RPE fue de 6,25 y 4,79 % para el sistema de alimentación EF y el sistema TMR, respectivamente. El CCC fue $r = 0,90$ y $r = 0,97$ para el sistema de alimentación EF y el sistema TMR, respectivamente. Estos valores indican una fuerte concordancia entre los valores actuales y los valores predichos por el modelo de polinomios. Estos resultados demuestran que el modelo de polinomios de tercer orden resultó un buen modelo de ajuste para las curvas de lactancias de cada vaca en los sistemas de alimentación evaluados (Figura 1). Sin embargo, el modelo de polinomios sobrestimó los valores actuales de la producción de leche al inicio de la lactancia,

siendo los valores de la producción inicial predicha 35 kg y 34 kg de leche para EF y TMR, respectivamente mientras que los valores actuales de producción inicial fueron 19 kg y 17 kg de leche para EF y TMR, respectivamente. Esta diferencia importante en la estimación de la producción diaria de leche al comienzo de la curva de lactancia, un efecto de borde, fue señalado por algunos autores (Kirkpatrick et al., 1990; Pool et al., 2000).

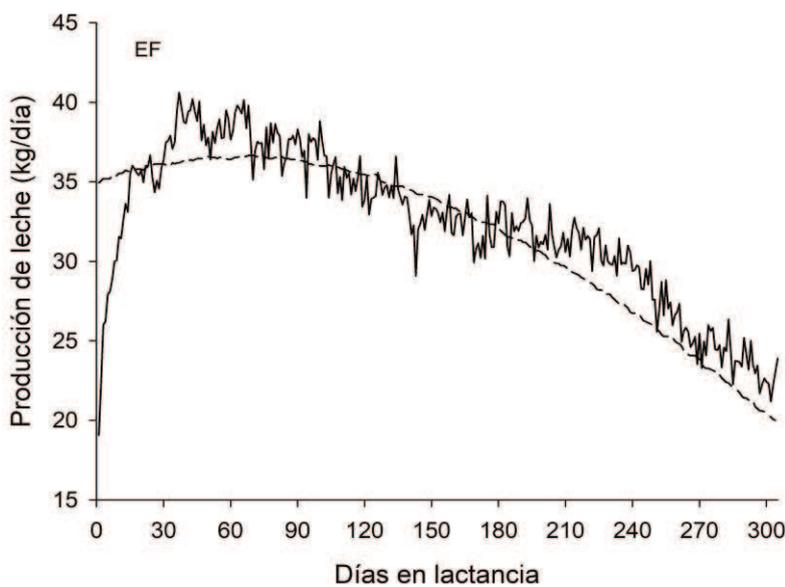
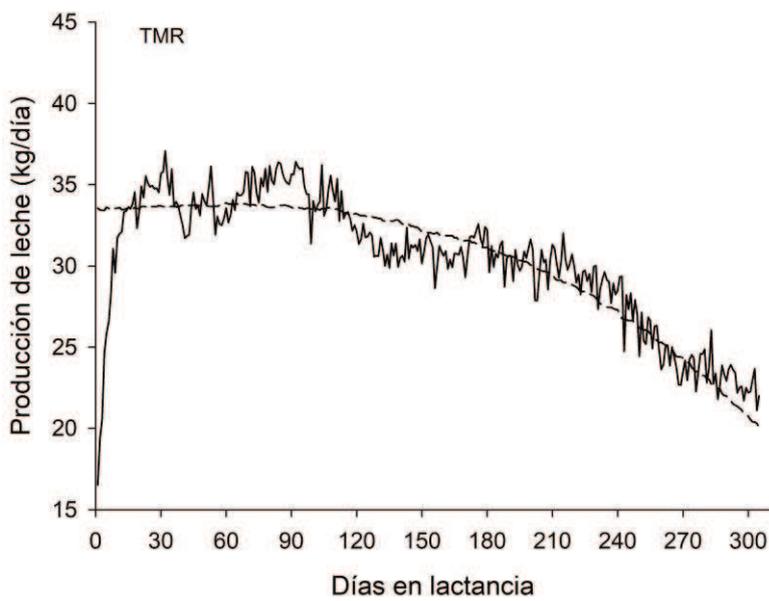


Figura 1. Curva de la lactancia promedio para el rendimiento diario de leche predicho por el modelo de polinomios (línea punteada) y el rendimiento actual (línea continua) en vacas lecheras alimentadas con una ración totalmente mezclada (TMR) y sistemas de alimentación simplificada (EF) durante una lactancia completa (305 días).

Predicción de curvas de lactancia en dos sistemas de alimentación

En la Tabla 1 se muestran los coeficientes de regresión medios, estimados para el modelo de polinomios, los cuales permiten construir las curvas de lactancia para rendimiento de leche, GB y PB para el sistema de alimentación EF y el sistema TMR.

Tabla 1. Valor medio y error estándar (EE) de los coeficientes de regresión de la curva de lactancia (a_0 , a_1 , a_2 y a_3) para rendimiento de leche, grasa (GB) y proteína (PB) utilizando el modelo de polinomios de Legendre de tercer orden para vacas lecheras alimentadas con dos sistemas de alimentación: simplificada (EF) y ración totalmente mezclada (TMR)

Rendimiento (kg)	Sistema alimentación	a_0		a_1		a_2		a_3	
		Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
Leche	EF	32,11	1,18	-4,06	0,83	-3,44	0,66	0,53	0,59
	TMR	30,81	1,26	-3,81	0,72	-3,66	0,77	-0,56	0,77
GB	EF	1,21	0,05	-0,28	0,04	-0,06	0,02	-0,09	0,02
	TMR	1,14	0,05	-0,18	0,05	-0,07	0,03	-0,12	0,03
PB	EF	1,05	0,04	-0,20	0,03	-0,15	0,04	0,01	0,02
	TMR	1,02	0,04	-0,02	0,04	-0,14	0,04	-0,02	0,03

Comparación de los sistemas de alimentación

El rendimiento predicho de leche, GB y PB durante el período experimental, el periodo residual y la lactancia completa para los sistemas de alimentación EF y TMR se detallan en la Tabla 2. El sistema de alimentación no afectó los rendimientos de leche, GB y PB durante la lactancia temprana (periodo experimental), periodo residual y lactancia

completa ($P \geq 0.05$; Tabla 2). Los valores promedios de rendimientos predichos en la lactancia completa fueron 9.591 kg de leche, 360 kg GB y 316 kg PB.

La ausencia de un efecto inmediato en los rendimientos de leche y GB y PB coincide con los resultados de estudios que evaluaron los sistemas TMR y componentes separados en la lactancia temprana (Phipps et al., 1984; Nocek et al., 1986 y Agnew et al., 1996; Ferris et al., 2006). No se encontraron estudios que comparen el efecto residual y el efecto en la lactancia completa en sistemas con TMR y componentes separados. Sin embargo, Ferland et al. (2018) evaluó información de sistemas de alimentación TMR y componentes separados aplicados en la lactancia completa provenientes de 4.000 rodeos lecheros comerciales de Canadá en un periodo de 5 años, y reportaron que vacas alimentadas con TMR presentaron un mayor rendimiento de leche, grasa y proteína que vacas alimentadas con componentes separados. Este mayor rendimiento diario de leche en vacas alimentadas con TMR en comparación con vacas alimentadas con componentes separados, estaría relacionado a que vacas en TMR consumen una dieta nutricionalmente completa y uniforme, con un mejor uso de los nutrientes disponibles para la síntesis y la secreción de la leche y los componentes de la leche (Ferland et al., 2018). En nuestro trabajo, los rendimientos de leche y componentes de la leche en la lactancia completa fueron similares entre tratamientos. Esto podría deberse a que las vacas en EF seleccionaron una dieta de acuerdo con sus preferencias, lo que pudo haberles permitido alcanzar un rendimiento de leche similar al de las vacas TMR, a pesar de las ventajas de las dietas TMR (Cuffia et al., 2020).

Tabla 2. Rendimiento acumulado de leche, grasa bruta (GB) y proteína bruta (PB) utilizando el modelo de polinomios para vacas lecheras alimentadas con dos sistemas: alimentación simplificados (EF) y ración totalmente mezclada (TMR) para el periodo experimental (1 a 80 días), residual (81 a 305 días) y la lactancia completa (1 a 305 días), error estándar de la diferencia (EED)

Ítem	Tratamiento		EED	P-valor
	EF	TMR		
Período experimental (kg)				
Leche	2.962	2.678	279	0,32
GB	111	95	9,6	0,11
PB	94	86	8,3	0,37
Período residual (kg)				
Leche	6.828	6.714	439	0,80
GB	259	253	18	0,74
PB	227	224	14	0,80
Lactancia completa (kg)				
Leche	9.790	9.392	526	0,46
GB	370	348	23	0,34
PB	321	310	15	0,48

CONCLUSIONES

El modelo de polinomios de tercer orden resultó un modelo adecuado para predecir las curvas de lactancia de vacas Holstein que fueron alimentadas durante la lactancia temprana en un sistema EF y en un sistema TMR. El sistema de alimentación no afectó el rendimiento de leche, grasa y proteína en la lactancia temprana, en el período residual y en la lactancia completa.

Investigaciones futuras deberían evaluar experimentalmente los sistemas EF y TMR en la lactancia completa.

REFERENCIA

- Adediran SA, Ratkowsky DA, Donaghy D.J., Malau-Aduli A.E.O. 2012. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95 :5344–5356. doi:10.3168/jds.2011-4663
- Agnew KW, Mayne CS, Doherty JG. 1996. An examination of the effect of method and level of concentrate feeding on milk production in dairy cows offered a grass silage based diet. *Anim. Sci.* 63:21–31. <https://doi.org/10.1017/S1357729800028241>
- Akaike, H. A new look at the statistical model identification 1974. *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Springer, New York, NY, 215-222.
- Cole, J. B., D.J. Null, A. De Vries. 2011. Best prediction of 305-day lactation yields with regional and seasonal effects. *Journal of dairy science*, 94, 1601-1604.
- Ehrlich, J. L. 2013. Quantifying inter-group variability in lactation curve shape and magnitude with the MilkBot® lactation model. *Peer J*, 1, e54.
- Ferland MC, Guesthier MA, Cue RI, Lacroix R, Burgos SA, Lefebvre D, and Wade K M 2018. Effect of feeding system and grain source on lactation characteristics and milk components in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 101: 8572-8585.
- Ferris CP, Frost JP, Binnie RC, Patterson DC. 2006. Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems. *Grass Forage Sci.* 61:304–314. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00534.x>
- Fuentes-Pila J, DeLorenzo MA, Beede DK, Staples CR, Holter JB 1996. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 79, 1562–1571.
- Fuentes-Pila, J., Ibanez, M., De Miguel, J. M., and Beede, D. K. 2003. Predicting average feed intake of lactating Holstein cows fed totally mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 86: 309-323.
- Gordon FJ, Patterson DC, Yan T, Porter MG, Mayne CS, Unsworth EF. 1995. The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilisation of energy and nitrogen. *Animal Sci.* 61: 199–210.

- Jørgensen CH, Spörndly R, Bertilsson J and Østergaard S. 2016. Invited review: Carryover effects of early lactation feeding on total lactation performance in dairy cows. *Journal of dairy science*, 99: 3241-3249.
- Kirkpatrick M, Lofsvold D, Bulmer M. 1990. Analysis of inheritance, selection, and evolution of growth trajectories. *Genetics*. 124:979–993.
- Landis, J. R., and Koch, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
- Lin LI 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45, 255–268.
- Macciotta NPP, Corrado D, Salvatore P.G. R, Roberto S, Giuseppe P 2011. *Italian Journal of Animal Science* 2011; volume 10:e51.
- Macciotta NPP, D. Vicario, and A. Cappio-Borlino 2005. Detection of Different Shapes of Lactation Curve for Milk Yield in Dairy Cattle by Empirical Mathematical Models. *J. Dairy Sci.* 88:1178–1191.
- Nocek JE, Steele RL, Braund DG. 1986. Performance of dairy cows fed forage and grain separately versus a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 69: 2140–2147.
- Olori VA , Brotherstone S, Hilla WG, McGuirk BJ 1999. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science* 58: 55–63
- Phipps RH, Bines JA, Fulford RJ, Weller RF. 1984. Complete diets for dairy cows: a comparison between complete diets and separate ingredients. *J. Agric. Sci.* 103:171–180. <https://doi.org/10.1017/S0021859600043434>
- Pool MH and Meuwissen THE 2000. Reduction of the number of parameters needed for a polynomial random regression test day model. *Livestock Production Science* 64:133–145.
- SAS Institute. Users Guide: Statistics, Version 9.4, SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Wilmink, J.B.M., 1987a. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livest. Prod. Sci.* 16:335-348.

Yan T, Patterson DC, Gordon FJ.1998. The effect of two methods of feeding the concentrate supplement to dairy cows of high genetic merit. *Anim. Sci.* 67:395-403. <https://doi.org/10.1017/S1357729800032793>

CAPÍTULO 5

Evaluación productiva, económica y análisis de riesgo de sistemas lecheros con alimentación totalmente mezclada y con un sistema simplificado de alimentación

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue modelar el impacto productivo, económico y el riesgo de sistemas lecheros completos con un sistema de alimentación simplificado (EF, easy feeding, por su sigla en inglés) y un sistema de ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés) que utilizan vacas Holstein de alta producción durante la lactancia completa. Se utilizó un modelo de simulación de sistemas lecheros, dinámico y estocástico, que fue cargado con datos de un experimento que comparó la performance animal en dichos sistemas de alimentación. Se realizaron simulaciones deterministas y estocásticas. Se incorporó estocasticidad en el precio de la leche y el precio de alimentos concentrados y en el rendimiento de las pasturas y de los cultivos, para investigar la variabilidad del mercado y del clima, respectivamente. Las vacas en el sistema EF mostraron similar rendimiento de leche y sólidos en leche que las vacas en el sistema TMR en la lactancia completa. Los dos sistemas de alimentación evaluados mostraron un resultado económico positivo. Sin embargo, el sistema EF presentó un resultado económico 21,6% superior al sistema TMR. Esta diferencia se explica por similar producción de leche en ambos sistemas, con mayor gasto de alimentación en el sistema TMR por la distribución de los alimentos. El sistema EF tuvo mayor rentabilidad (resultado económico sobre el capital invertido) en comparación al sistema TMR, 12,8% vs 10,0%, respectivamente, debido al mejor resultado económico, y menor inversión de capital en EF. El efecto del clima generó menor variabilidad que el efecto del mercado sobre el resultado económico en ambos sistemas.

INTRODUCCIÓN

El costo de producción de leche es el indicador más importante que determina la rentabilidad del sistema lechero (Alqaisi et al., 2011). La alimentación es el mayor costo en los sistemas lecheros, representando entre el 50 y el 70% de los costos totales de producción de leche y depende en gran medida del sistema de alimentación implementado (Alqaisi et al., 2019). Los costos de alimentación están determinados por los precios de los alimentos, la composición de la dieta (Alqaisi et al., 2019) y los costos asociados a las actividades de alimentación, es decir, el suministro de alimentos (Pezzuolo et al., 2016).

Los estudios experimentales de sistemas completos han sido un enfoque común para la evaluación de la productividad y la rentabilidad de sistemas. Sin embargo, los experimentos de campo son poco práctico y costoso debido a la gran cantidad de factores que afectan la producción. Por lo que, en los últimos años, la investigación de sistemas productivos se ha basado cada vez más en modelos matemáticos para simular las complejas interacciones entre los diferentes componentes de un sistema y hacer predicciones cuantitativamente sobre el desempeño del sistema (Stirling et al., 2021).

La simulación de sistemas productivos, es una herramienta muy útil para representar sistemas reales, siendo una alternativa práctica y de bajo costo, que permite evaluar diferentes escenarios productivos y económicos (Beukes et al., 2008; Baudracco et al., 2013). Uno de los principales desafíos de los sistemas lecheros es lograr rentabilidad positiva ante variaciones en el precio de la leche, el precio de los insumos, principalmente los alimentos concentrados, y ante variaciones del clima, lo cual puede investigarse con estudios de simulación.

Los sistemas de alimentación con ración totalmente mezclada (TMR, total mixed ration, por su sigla en inglés) son ampliamente utilizados en los sistemas de producción de leche con vacas en confinamiento. El TMR ofrece a la vaca un suministro equilibrado de nutrientes a lo largo del día, lo que permite mejorar la producción de leche (Schingoethe, 2017). Sin embargo, el sistema TMR requiere altas inversiones en maquinaria, además de mayores costos operativos relacionados con la alimentación (combustible, mano de obra, reparaciones) (Ferris et al., 2006).

Algunos productores lecheros, con el objetivo de realizar menores inversiones y tener menores costos operativos, implementaron un sistema de alimentación, en adelante denominado simplificado (EF, easy feeding, por sus siglas en inglés). El sistema EF, consiste en suministrar los componentes de la dieta por separado, sin utilizar maquinaria en el proceso de alimentación. El sistema EF elimina el uso de maquinaria especializada para extraer, mezclar, y suministrar los alimentos, lo cual reduce la demanda de mano de obra y el uso de combustible para las actividades de alimentación. A su vez, se ha reportado que ofrecer los componentes de la dieta por separado y para consumo ad libitum, permite a los animales seleccionar los alimentos de acuerdo a sus necesidades (Forbes et al. 2007), y la vaca determina su dieta final.

Un estudio experimental, comparó la performance de vacas Holstein alimentadas bajo dos sistemas de alimentación diferentes: sistema EF y sistema TMR (Capítulo 3, Cuffia et al., 2020). El experimento se realizó durante la lactancia temprana, desde el momento inmediatamente posterior al parto hasta los 80 días de lactancia promedio.

El objetivo del presente estudio fue modelar dos sistemas lecheros de vacas en confinamiento en la lactancia completa, uno con alimentación simplificado (EF) y otro con ración totalmente mezclada (TMR), en vacas Holstein de alta producción y evaluar los resultados productivos, económico y riesgo de ambos sistemas. La hipótesis de este trabajo fue que un sistema de alimentación simplificada permitiría mayor resultado económico que el sistema TMR; como consecuencia de similares producciones de leche y menores costos de alimentación.

No existe información sobre los resultados productivos, económicos y análisis de riesgo evaluando sistemas lecheros completos con sistemas de alimentación TMR y con el sistema de alimentación EF.

MATERIALES Y METODOS

Sistemas de alimentación

Se evaluó mediante estudios de simulación el resultado productivo, económico y el riesgo de dos sistemas lecheros completos con diferentes sistemas de alimentación durante la lactancia completa: i) un sistema lechero con alimentación de ración

totalmente mezclada (TMR) y ii) un sistema lechero con alimentación simplificado (EF). En ambos sistemas las vacas estuvieron confinadas a cielo abierto durante toda la lactancia. En el tratamiento TMR la dieta estuvo totalmente mezclada y compuesta por silo de maíz, heno de alfalfa y concentrado. El tratamiento EF incluyó los mismos componentes de la dieta que el TMR, pero ofrecidos por separado; así, el concentrado fue ofrecido individualmente en la sala de ordeño, el heno de alfalfa ofrecido en rollos y el silo de maíz ofrecido directamente de la bolsa del silo a través de orificios a ambos lados de la bolsa, sin intervención de maquinaria en el proceso de alimentación (Capítulo 3, Cuffia et al., 2020).

Datos utilizados en la modelación de sistemas

Para simular los dos sistemas se utilizaron : i) datos obtenidos en un estudio experimental de 31 días con vacas Holstein, con parto de otoño, que consumieron silo de maíz, heno de alfalfa y concentrados alimentadas con dos sistemas de alimentación diferentes: EF y TMR (Capítulo 3, Cuffia et al., 2020); ii) los parámetros matemáticos que definen las curvas de lactancia (Capítulo 4), y iii) los valores económicos para insumos, capital y procesos de manejo de un tambo de Argentina (Lazzarini et al., 2018, Gastaldi et. al, 2020).

Modelo e-Dairy

Se utilizó un modelo de simulación de sistemas lecheros completo, el cual es dinámico y estocástico y se denomina e-Dairy (Baudracco et al., 2013). El modelo e-Dairy simula diariamente la producción de leche, grasa y proteína, peso vivo y condición corporal durante un periodo de 365 días para vacas individuales, y además simula el resultado económico del sistema lechero completo.

En el modelo e-Dairy, la producción de leche simulada se estima mediante curvas de lactancia potencial (litros) combinada con las curvas de porcentajes de grasa y proteína en leche. Las curvas potenciales de leche utilizadas son las publicadas en (Baudracco et al., 2013), y los porcentajes de grasa y proteína se obtuvieron de las modelaciones realizadas en el capítulo 4 de la tesis. Para estimar la producción real, el modelo e-Dairy

combina el potencial de producción con la del alimento disponible en cada día simulado.

El rodeo se genera aleatoriamente a través de operaciones matriciales utilizando varianzas y covarianzas de las variables productivas. El modelo puede simular, estocásticamente, el comportamiento de variables clave del sistema lechero, tales como la cantidad de pastura producida y ofrecida, el mérito genético y los precios de la leche y de los suplementos exógenos. Los principales datos requeridos para correr el modelo son: uso del suelo, tipo de pastura, tasa de crecimiento mensual de pastura, cantidad y distribución de suplementos, calidad de los alimentos (EM: energía metabolizable y FDN: fibra detergente neutra), descripción del rodeo (número de vacas, patrón de pariciones), estructura de edad, condición corporal inicial (escala 1-5), peso vivo, probabilidades de preñez por servicio, mérito genético (potencial de producción de leche, grasa y proteína) y datos económicos relacionados a los ingresos, egresos y al capital invertido. Los principales datos de salida del modelo e-Dairy son: consumo de pastura, reservas y alimentos concentrados por vaca, utilización anual de la pastura, producción de leche, cambios en la condición corporal de las vacas, resultado económico y rentabilidad.

Supuestos productivos

Superficie y carga animal

Las simulaciones se realizaron para representar un sistema de 100 ha destinadas a vacas totales (VT: vacas ordeño más vacas secas). La cantidad de VT utilizadas fue de 200. Se asumió que la cría de hembras se realizó fuera de las 100 ha y que se pagó un servicio de cría para obtener la reposición. La carga animal utilizada fue de 2,0 VT/ha.

De las 100 ha totales, se destinaron 50 ha para pastura de alfalfa, 50 ha para silaje de maíz (6 meses de ocupación del suelo), 11 ha para silaje de verdeo de invierno (6 meses de ocupación del suelo) y 19,5 ha de superficie improductiva (promedio anual, instalaciones, corrales de encierro de animal, callejones, etc.).

Animales y composición de la leche

Se utilizaron vacas Holstein con 600 kg de peso vivo. La concentración de grasa butirosa en leche fue de 3,70% y la de proteína bruta de 3,28%, de acuerdo a los datos modelados de las curvas de lactancia (Capítulo 4).

Rendimiento de los cultivos y calidad de los alimentos

El rendimiento en kg de materia seca (MS) asumido en la simulación fue de 11.041, 11.560 y 4.023 kg MS/ha/año para pastura de alfalfa, maíz y verdeos de invierno, respectivamente (Tabla 1), basados en series históricas de resultados de rendimientos en la Estación Experimental Rafaela, INTA (datos no publicados). La calidad de los alimentos fue definida por la concentración energética, expresada en Mcal de energía metabolizable (EM), la cual fue 1,91, 2,22 y 3,16 Mcal EM/kg MS para heno de alfalfa, silo de maíz y alimentos concentrados, respectivamente y la fibra detergente neutra (FDN) expresada como porcentaje de la MS, la cual fue de 59% FDN para heno de alfalfa, 35% FDN para silo de maíz y 12% FDN para alimentos concentrados. Los datos de calidad utilizados surgen del análisis de composición química de los alimentos utilizados durante el experimento (Capítulo 3; Cuffia et al., 2020).

La eficiencia de uso de los alimentos ($\text{consumido} \div \text{ofrecido} \times 100$) en el sistema EF se asumió en un 95% para concentrados, 90% para heno y 85% para silo. La eficiencia de uso de la TMR ($\text{consumido} / \text{ofrecido} \times 100$) se asumió en un 90% (Baudracco et al., 2017).

Supuestos económicos

Todos los valores económicos se expresan en dólares estadounidenses (\$).

Ingresos por venta de leche

El precio de la leche utilizado para las simulaciones determinísticas fue de \$ 0,29/kg de leche para los dos escenarios estudiados (Lazzarini et al., 2018).

Ingresos por venta de carne

Por la venta de las vacas de descarte se utilizó un precio de \$1,2/kg de peso vivo. Por venta de terneros machos de una semana de vida se utilizó un precio de \$22/cabeza. Dichos valores corresponden a los precios promedio pagados en los mercados de carne de la región bajo estudio.

Costos de alimentación

El costo promedio de MS producida fue de \$342, \$343 y \$198 por ha por año para pastura de alfalfa, silo de maíz y verdeo de invierno, respectivamente. El costo de pastura de alfalfa incluye el gasto de mantenimiento de alfalfa.

Los costos de confección de reservas fueron de \$ 0,058 y \$0,03/kg MS para ensilaje y heno, respectivamente. El precio de los alimentos concentrados comprados fuera del sistema fue de \$ 0,20/kg tal cual.

Para el sistema TMR se consideró un costo adicional de \$ 0,013 / kg de MS para distribución de silo, heno y concentrado en un mixer (incluye la depreciación de la maquinaria y mantenimiento, combustible y de mano de obra). El costo de suministro fue calculado mediante software Sumicost (Centeno y Rambeaud, 2013). En la Figura 1 se observan los componentes del costo de suministro de los alimentos para el sistema TMR.

El sistema EF suministró el alimento concentrado en la sala de ordeño, el silo directamente desde la bolsa y el heno en rollos, se incluye solamente el costo de distribución de rollos y amortización (\$14,7/vaca/año) y mantenimiento (\$8,8/vaca/año) del sistema de racionamiento automático de alimentos concentrados en la sala de ordeño.

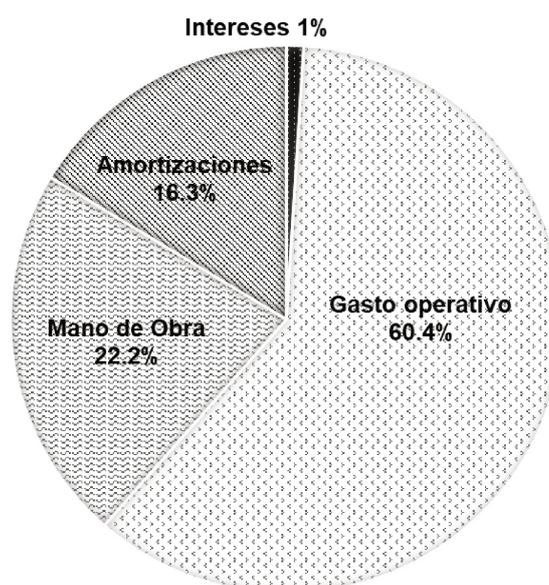


Figura 1. Desglose de los principales rubros que componen el costo de suministro: gasto operativo, mano de obra, amortizaciones e intereses calculado mediante software Sumicost (Centeno y Rambeaud, 2013).

Mano de obra y gastos del rodeo

El costo de la mano de obra se consideró igual en ambos sistemas, como un porcentaje de la venta total de leche (13% del ingreso por venta de leche). Se asumió un costo de \$70, \$33, \$36 y \$20 VT/por año para sanidad e inseminación, control lechero, limpieza y mantenimiento de ordeñadora y electricidad, respectivamente.

Para la crianza de terneros se consideró un costo de \$55/ternero por mes de crianza, hasta los 60 días de edad. Se consideraron \$20/vaca por año de gastos de tratamiento y aplicación de efluentes y \$13 VT/por año por gastos directos varios.

Costos indirectos y alquiler de la tierra

Para los dos sistemas, los costos indirectos incluyeron: gastos de reparación y mantenimiento (\$60/ha/año), gastos en vehículos (\$30/ha/año), gastos administrativos (\$58/ha/año), impuestos (\$105/ha/año), y depreciación relacionada a los activos del sistema (\$341/ha/año). Se consideró el pago del alquiler de 100 ha de tierra a un costo de \$290/ha por año.

Cálculo del resultado económico y de la rentabilidad

Se calculó el resultado económico como:

Resultado económico = ingresos por venta de leche y carne - (costos de alimentación + mano de obra + costos relacionados a los animales + costos indirectos + alquiler de tierra). La rentabilidad de los activos se calculó como el resultado económico del sistema / activos totales \times 100.

Capital invertido

Se asumió una inversión de \$ 1.123/VT en los dos sistemas (incluye instalaciones de ordeño, equipo de ordeño y equipos de refrigeración de la leche). El capital animal fue de \$ 1.000 por vaca. Se asumió una inversión de \$ 80.000 para un tractor y un mixer (\$400/ vaca) para suministro de alimentos en sistema TMR y \$220/vaca para un tractor e implemento para distribuir heno en EF. Se consideró una inversión \$ 607 para confinamiento de los animales (incluye el levante de superficie con tierra, instalación de sombras y pista de cemento para sector de alimentación (Taverna et al., 2017) y \$110/vaca para la instalación de racionadores automáticos de concentrado en la sala de ordeño en el sistema EF.

Simulaciones determinísticas y estocásticas

Se realizaron simulaciones deterministas, con los datos de entrada fijos, produciendo de esta forma un único resultado para cada sistema. Adicionalmente, se realizaron simulaciones estocásticas, a partir de la aleatorización de variables clave, lo que permitió el análisis de riesgo. Se realizaron 10.000 corridas para cada sistema de alimentación, incorporando estocasticidad para las siguientes variables: (i) precios de venta de la leche y precio de compra de concentrados; para investigar el impacto de la variabilidad del mercado y (ii) rendimiento de las pasturas y de los cultivos; para investigar el impacto de la variabilidad climática. Para realizar las simulaciones estocásticas, se utilizaron la media y el desvío estándar (DE) utilizando una función de probabilidad normal. Para obtener los valores de DE para el precio de la leche, los alimentos concentrados se utilizaron series históricas de precios utilizados en Lazzarini

et al. (2018) y para rendimientos de pasturas y cultivos, fueron utilizadas series históricas de resultados de rendimientos en INTA (datos no publicados). Para la simulación estocástica se utilizó un promedio de \$ 0,29/kg de leche ($\pm 0,051$) y \$ 0,20/kg MS ($\pm 0,044$) para los alimentos concentrados. Los rendimientos y DE de las pasturas de alfalfa, cultivo de maíz y verdes de invierno, fueron 11.041 (± 1.980), 11.500 (± 2.415) y 4.000 (± 840) kg MS/ha por año, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Simulaciones determinísticas

Los resultados productivos y económicos de las simulaciones determinísticas para los escenarios estudiados se presentan en la Tabla 1.

Rendimiento de leche y sólidos en la leche

Los resultados productivos para los sistemas de alimentación EF y TMR fueron similares, la producción de leche promedio para los dos sistemas fue 31,6 litros de leche/vaca por día y 9.320 kg leche/vaca por año y de 18.640 litros/ha por año (Tabla 1). El rendimiento de sólidos en la leche en promedio para ambos sistemas fue de 1.309 kg /ha por año y 655 kg/vaca por año (Tabla 1). Se observa que con los niveles productivos y la carga animal utilizados en estos dos sistemas se obtuvo una producción muy superior al promedio de Argentina, el cual es de 5.900 litros por vaca por año (Lazzarini et al., 2019).

En el presente estudio, las vacas alimentadas en el sistema EF mostraron similar rendimiento de leche y sólidos en leche que las vacas alimentadas en el sistema TMR. Estos resultados devienen de utilizar los datos de las curvas de lactancias generadas para ambos sistemas de alimentación (Capítulo 4), donde no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados coinciden con los resultados de estudios que evaluaron los sistemas TMR y componentes separados en la lactancia temprana (Phipps et al., 1984; Nocek et al., 1986 y Agnew et al., 1996; Ferris et al., 2006).

Consumo de materia seca

El consumo total de materia seca fue en promedio 6.940 kg MS/vaca por año en promedio de ambos sistemas, conformado por 4.018 kg MS/vaca de forrajes (silo de maíz y heno de alfalfa) y 2.921 kg MS/vaca de alimentos concentrados (Tabla 1).

Resultados económicos

Los dos sistemas de alimentación evaluados mostraron un resultado económico positivo. Sin embargo, el sistema EF presentó un resultado económico 21,6% superior al sistema TMR. El resultado económico fue 873 y 718 \$/ha por año para el sistema EF y TMR, respectivamente. Esta diferencia en el resultado económico se explica por producciones de leche similares en ambos sistemas y por el mayor gasto en distribución de alimentos del sistema TMR comparado con el sistema EF. El sistema TMR tuvo un costo de distribución de alimentos que representó el 3,5 % del ingreso total (\$) de dicho sistema por ha por año.

El sistema EF tuvo mayor rentabilidad en comparación al sistema TMR (12,8% vs 10,0%) debido al mejor resultado económico, pero también a la menor inversión de capital (6.822 vs 7.200 \$/ha), lo que se explica por el menor capital maquinarias asociado a la distribución de alimentos. Estos resultados fueron similares a los reportados por Baudracco et al. (2017), el sistema simplificado (EF) requiere menor inversión de capital, y menores costos asociados a las actividades de alimentación en comparación al sistema TMR. La posibilidad de obtener similares producciones en el sistema EF y TMR, con menores costos y menor inversión de capital, convierte al sistema EF en una tecnología de proceso de alto impacto económico.

Tabla 1. Resultados productivos y económicos anuales (\$) de las simulaciones determinísticas para dos sistemas de alimentación: sistema simplificado (EF) y sistema de ración totalmente mezclada (TMR)

Ítem	Tratamiento	
	EF	TMR
Producción /vaca por año (kg)		
Leche	9.310	9.330
Grasa butirosa	348	348,7
Proteína cruda	306	306,3
Solidos de leche	654	655
Producción /ha por año (kg)		
Leche	18.621	18.659
Grasa butirosa	695,8	697,3
Proteína cruda	611,5	612,6
Solidos de leche	1.307	1.310
Consumo/vaca por año (kg de MS)		
Silaje y heno	4.017	4.019
Alimento concentrado	2.919	2.923
Consumo total	6.936	6.942
Consumo/ ha por año (kg de MS)		
Silaje y heno	8.034	8.039
Alimento concentrado	5.838	5.846
Consumo total	13.872	13.885
Resultado económico/ha por año (\$)	873	718
Capital invertido (\$/ha)	6.822	7.200
Rentabilidad (%)	12,8	10,0

Simulaciones estocásticas: análisis de riesgo

Para analizar el riesgo económico, incluimos estocasticidad en el precio de la leche, en el precio de los alimentos concentrados y en el rendimiento de los cultivos y pasturas, para simular diferentes combinaciones, tal como podría suceder en los sistemas reales. Según nuestro conocimiento, no hay estudios previos que evalúen el riesgo económico en sistemas lecheros que utilicen sistemas de alimentación EF y TMR.

Como se describió en la metodología, se realizaron para cada sistema 10.000 simulaciones, para evaluar el efecto de mercado, aleatorizando el precio de la leche y del concentrado, y se realizaron 10.000 simulaciones por sistema para evaluar el efecto

del clima, aleatorizando en cada corrida los rendimientos de los cultivos. En la Figura 2 el largo de las barras muestra el rango de resultados posibles para cada sistema en los escenarios de incertidumbre del mercado (las 2 barras izquierdas de la Figura 2) y clima (las 2 barras derechas de la Figura 2). El efecto de la variabilidad del mercado (variación de precios; Figura 2) en el resultado económico, generó una variación entre \$1.797 (resultado económico negativo) y \$ 3.542 (resultado económico positivo) para el sistema EF, una variación de entre \$1.943 (resultado económico negativo) y \$3.417 (resultado económico positivo) para el sistema TMR. El efecto de la variabilidad del clima, es decir la variación en el rendimiento de los cultivos y pasturas (Figura 2), generó una variación en el resultado económico entre \$65 y \$1.413 para EF y entre \$199 (resultado negativo) y \$1.293 para TMR. Se observa que en sistemas con vacas confinadas a corral (TMR y EF), el efecto del clima es inferior al efecto del mercado sobre el resultado económico. Esto se debe a que el modelo asume que, en los años adversos, con menor producción de alimentos en el campo, la cantidad de silaje y heno se mantiene estable, a partir de la compra de los alimentos necesarios, generando así independencia del clima en su efecto sobre la producción de forrajes. El efecto de mercado fue más grande que el del clima, debido a que i) el efecto de mercado impacta directamente sobre el resultado económico, a diferencia del efecto del clima que impacta sobre la producción de los cultivos y luego indirectamente sobre la producción de leche, ii) el efecto de mercado actúa sobre dos factores clave, el precio de la leche y el precio del alimento concentrado, el cual representa el mayor gasto de los sistemas lecheros de Argentina. Así, en casos en que la aleatorización de precios combina bajo precio de leche y alto precio de concentrado el efecto es importante y viceversa, generando amplia variación de resultados (Figura 2; Baudracco et al., 2017).

Adicionalmente, en sistemas con uso de reservas de silaje de maíz, el efecto de clima es amortiguado, debido a que el rendimiento del cultivo de maíz para reservas depende de las condiciones climáticas previas al año en el que se utiliza. Así, por ejemplo, el año de confección de reservas puede ser seco, y el año siguiente en el que se usan puede ser húmedo con alto rendimiento de pasturas, o viceversa. Por otra parte, la eficiencia de uso de pasturas en años con bajos rendimientos se incrementa, lo que también tiende a amortiguar el efecto adverso del clima sobre el consumo de

alimentos. Estos efectos son capturados en las simulaciones realizadas con el modelo e-Dairy.

Nuestros resultados mostraron que la exposición al riesgo sería levemente superior en el sistema TMR en comparación con EF, en el sentido que una proporción mayor de años el sistema TMR tendrá resultados negativos (Figura 2).

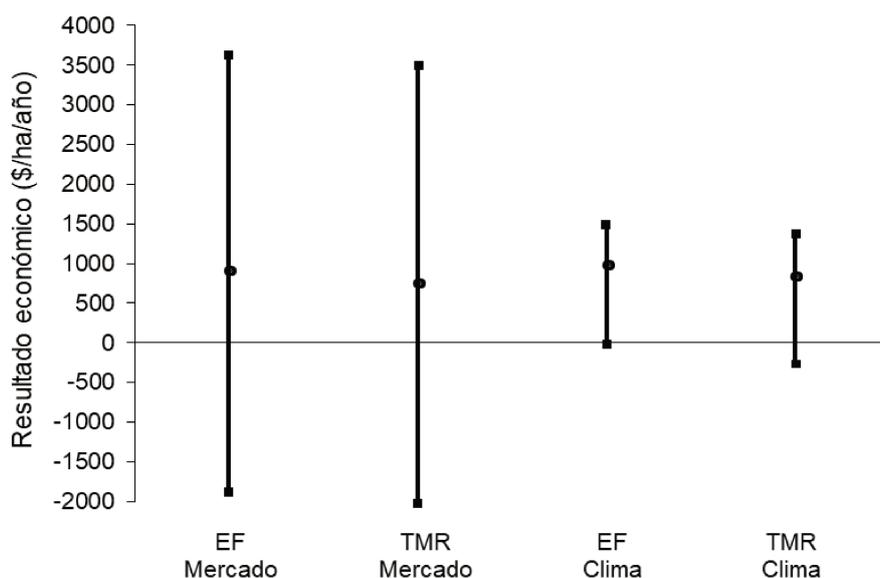


Figura 2. Resultado económico expresado en \$/ha/año para los dos sistemas de alimentación estudiados, con variaciones del mercado (precio de leche y precio de concentrado) y variaciones de clima (rendimientos de pasturas y cultivos). El círculo en el centro de la barra indica el resultado promedio del sistema y la longitud de la barra indica el rango en el que se observan los resultados económicos de las 10.000 simulaciones. Los valores están expresados en dólares estadounidenses (\$).

En la Figura 3 se observa la variación en resultados económicos en función del precio de la leche y precio de concentrados. La Figura 3 se construyó con la simulación estocástica realizada para los dos sistemas de alimentación. Si bien el resultado promedio por hectárea fue similar entre los sistemas simulados, el sistema EF mostró una menor variación económica. La Figura 3 muestra el punto de indiferencia de 0,2348 \$/kg de leche para el sistema EF y 0,2443 \$/kg leche para el sistema TMR.

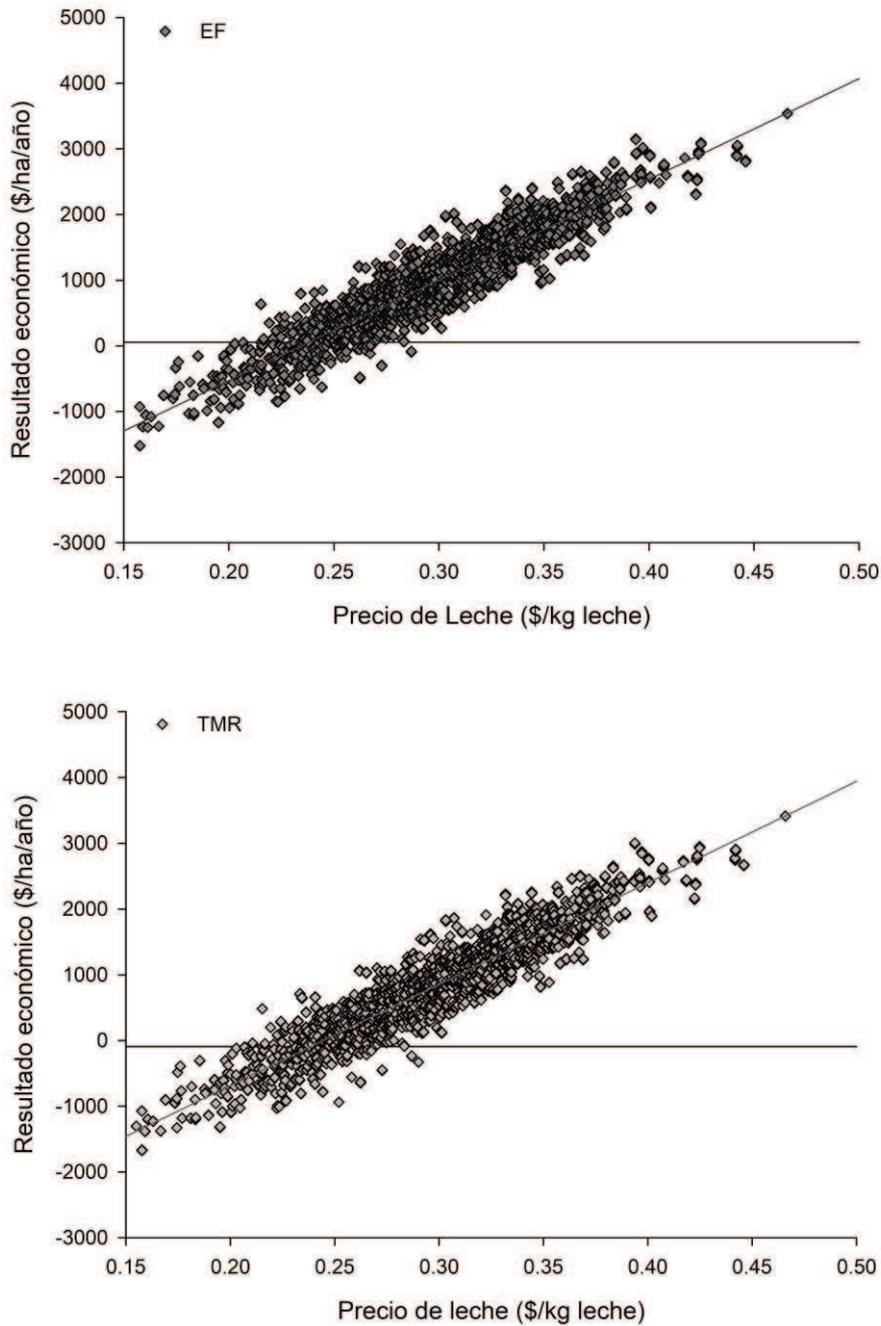


Figura 3. Resultado económico expresado en \$/ha/año para los dos sistemas de alimentación estudiados. El precio de la leche y el precio del concentrado se comportaron estocásticamente. Los valores están expresados en dólares estadounidenses (\$).

CONCLUSIONES

La producción de leche por vaca por año fue similar en los dos sistemas evaluados. El resultado económico fue positivo para ambos sistemas, sin embargo, el sistema EF presento valores superiores en resultado económico y rentabilidad que el sistema TMR, debido a que el sistema EF requiere un menor capital de inversión y menores costos asociados a las actividades de alimentación.

La posibilidad de obtener similares producciones en el sistema EF y TMR, con menores costos y menor inversión de capital, convierte al sistema EF en una tecnología de proceso de alto impacto económico.

Investigaciones futuras deberían evaluar la eficiencia del uso de los alimentos utilizados en ambos sistemas de alimentación.

REFERENCIAS

- Agnew KW, Mayne CS, Doherty JG. 1996. An examination of the effect of method and level of concentrate feeding on milk production in dairy cows offered a grass silage based diet. *Anim Sci.* 63:21–31.
- Alqaisi O, Ndambi A, Hemme T. 2011. Global view on feed cost and feed efficiency on dairy farms. *All About Feed magazine*, 2.
- Alqaisi O, Moraes LE, Ndambi OA, Williams RB. 2019. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. *Information Processing in Agriculture*, 6: 438-453.
- Beukes PC, CC Palliser, KA Macdonald, JAS Lancaster, G Levy, BS Thorrold and ME Wastney. 2008. Evaluation of a whole-farm model for pasture-based dairy systems. *J D Sci.* 91:2353-2360
- Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Comeron EA, MacDonald KA and Barry TN 2013. E-Dairy: a dynamic and stochastic whole-farm model that predicts biophysical and economic performance of grazing dairy systems. *Animal* 7: 870–878.
- Baudracco J, Maiztegui J, Jáuregui J, Lazzarini B, Gagliardi R, Rosset A. 2017. Productividad, resultado económico y riesgo de sistemas lecheros en el centro-norte de argentina. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 72: 454-466
- Centeno A, Rambeaud O. 2013. Sumicost. Una Herramienta para calcular el costo de suministro de alimentos en el tambo. Hoja de información técnica N°35 INTA UEEA San Francisco. Agosto de 2013. ISSN: 2250-8546.
- Cuffia M, Baudracco J, Romero L, Cuatrin A, Gagliostro G, Maiztegui J, Comeron E. 2020. A simplified feeding system did not affect milk production compared with a total mixed ration system in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science* 19: 887-895, DOI: 10.1080/1828051X.2020.1805369
- Ferland MC, Guesthier MA, Cue RI, Lacroix R, Burgos SA, Lefebvre D, and Wade K M 2018. Effect of feeding system and grain source on lactation characteristics and milk components in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 101: 8572-8585.

- Ferris CP, Frost JP, Binnie RC, Patterson DC. 2006. Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems. *Grass and Forage Sci.* 61:304–314.
- Forbes JM. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nut. Res. Rev.* 20:132–146.
<https://doi.org/10.1017/S0954422407797834>
- Gordon FJ, Patterson DC, Yan T, Porter MG, Mayne CS, Unsworth EF. 1995. The influence of genetic index for milk production on the response to complete diet feeding and the utilisation of energy and nitrogen. *Anim Sci.* 61:199–210
- Lazzarini B, Baudracco J, Tuñón G, Gastaldi L, Lyons N, Quattrochi H and Lopez-Villalobos N. 2019. Review: Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. *Applied Animal Science* 35, 426-432.
- Lazzarini B, Lopez-Villalobos N, Lyons N, Hendrikse L, Baudracco J. 2018. Productive, economic and risk assessment of grazing dairy systems with supplemented cows milked once a day. *Animal* 12: 1077-1083.
- Nocek JE, Steele RL, Braund DG. 1986. Performance of dairy cows fed forage and grain separately versus a total mixed ration. *J Dairy Sci.* 69:2140–2147.
- Pezzuolo A, Chiumenti A, Sartori L, Da Borso F. 2016. Automatic feeding system: evaluation of energy consumption and labour requirement in north-east Italy dairy farm. *Proceedings of 15th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development; Jelgava, Latvia.* p. 882–887.
- Phipps RH, Bines JA, Fulford RJ, Weller RF. 1984. Complete diets for dairy cows: a comparison between complete diets and separate ingredients. *J Agric Sci.* 103:171–180.
- Schingoethe DJ. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100:10143-10150. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12967>
- Stirling, S., S. Fariña, D. Pacheco, R. Vibart. 2021. Whole-farm modelling of grazing dairy systems in Uruguay. *Agricultural Systems*, 193, 103227.

Taverna M, Walter E, García K, Ghiano J, Costamagna D, Dominguez J. 2017. Corrales estabilizados para la alimentación.

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_corrales_estabilizados_para_alimentacion_julio2017.pdf. Acceso 2018.

Yan T, Patterson DC, Gordon FJ. 1998. The effect of two methods of feeding the concentrate supplement to dairy cows of high genetic merit. *Anim Sci.* 67:395–403.

CAPÍTULO 6

Discusión general y conclusiones

INTRODUCCION

La evaluación científica de las prácticas realizadas por los productores, permite una construcción colectiva de conocimiento, entre los productores que proponen nuevas ideas prácticas y los investigadores que validan con método científico las experiencias prácticas. Esto favorece una mejor toma de decisiones sobre diferentes aspectos, como los sistemas de alimentación, que tienen un alto impacto en la performance animal y la rentabilidad del sistema de producción (Eastridge, 2006).

En la provincia de Santa Fe, algunos productores lecheros implementaron un sistema de alimentación simplificado (EF, *easy feeding* por sus siglas en inglés), impulsados por el objetivo de realizar menores inversiones y tener menores costos operativos asociados a las actividades de distribución de alimentos. El sistema de alimentación simplificada, aquí denominado EF, desarrollado por productores, consiste en suministrar los componentes de la dieta por separado sin utilizar maquinaria en el proceso de alimentación. De esta manera, el silaje se ofrece directamente desde la bolsa del silo a través de orificios a ambos lados de la bolsa, el heno directamente desde los rollos y el alimento concentrado en la sala de ordeño. El sistema EF elimina el uso de maquinaria especializada para extraer, mezclar, y suministrar los alimentos, lo cual reduce la demanda de mano de obra y el uso de combustible para las actividades de alimentación.

El objetivo de esta tesis fue evaluar productiva y económicamente sistemas de producción de leche con vacas alimentadas en un sistema simplificado y vacas alimentadas en un sistema de ración totalmente mezclada. Para lograr este objetivo, se realizó en primer lugar una revisión bibliográfica sobre los sistemas de alimentación utilizados en el mundo para vacas lecheras y sobre los efectos de diferentes sistemas de alimentación sobre la performance animal. Luego se realizó un estudio experimental en vacas Holstein de alta producción durante la lactancia temprana, con el fin de comparar la performance de vacas alimentadas en un sistema simplificado, i.e., componentes de la dieta separados, *ad libitum* y sin intervención de maquinaria en la distribución, con la performance de vacas alimentadas en un sistema de ración totalmente mezclada (TMR, *total mixed ration*, por su sigla en inglés). Posteriormente, con los datos obtenidos experimentalmente, se realizó la modelación de las curvas de lactancia para vacas

alimentadas con un sistema de alimentación simplificado y de ración totalmente mezclada. Por último, se evaluó el resultado económico y el riesgo de sistemas lecheros completos con alimentación simplificada y con ración totalmente mezclada en lactancia completa, mediante un estudio de simulación.

Esta tesis contribuyó a generar información productiva y económica de sistemas de alimentación utilizados en la lechería argentina, además de información científica sobre la temática a través de publicaciones internacionales.

CONTRIBUCIONES GENERALES DE LA TESIS

Capítulo 2: Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica permitió compendiar información sobre los principales sistemas de alimentación utilizados en la producción de leche y el efecto sobre la performance animal, incluyendo 24 estudios experimentales. La información revisada indica que las vacas alimentadas únicamente con pasturas o pasturas suplementadas con concentrados presentaron un menor consumo de materia seca total, menor producción de leche y mayores pérdidas de peso vivo y score de condición corporal que las vacas alimentadas en sistemas TMR. La diferencia en producción leche a favor de las dietas TMR estaría explicada por el mayor consumo de materia seca total.

La combinación de pastura y TMR (denominado sistema PMR) resulta en una estrategia adecuada para mantener la producción de leche, con una baja participación de la pastura. A medida que en los sistemas PMR incrementan la inclusión de pastura o tiempo de acceso a la pastura pueden afectar el consumo de materia seca total y la producción de leche. La variabilidad en la respuesta productiva está asociada al consumo de materia seca, la calidad nutricional de la TMR, el tipo y calidad de la pastura y requerimientos de mantenimiento para las actividades de caminar y pastorear.

Analizando los diversos experimentos, se observó que vacas lecheras con producciones superiores a 28 kg/leche por día, alimentadas con componentes separados presentaron similar consumo de materia seca total a vacas alimentadas con TMR. Sin embargo, la producción de leche, grasa butirosa y proteína bruta en leche fue mayor en sistemas TMR que en CS, con similares peso vivo y condición corporal entre sistemas.

La revisión de 24 estudios experimentales permitió realizar una regresión entre consumo de materia seca y producción de leche con diferentes sistemas de alimentación por la cual se estima que, a partir de una producción de 14,21 kg de leche, por cada unidad de incremento en consumo de materia seca, la producción de leche se incrementa en 0,75 kg de leche.

La revisión proporcionó información y discusiones que resultan de utilidad para evaluar la conveniencia de los diferentes sistemas de alimentación que permitan mejorar la respuesta productiva.

Capítulo 3: Estudio experimental

El estudio experimental comparó la performance animal de las vacas en un sistema de alimentación simplificado (EF) con la performance animal de las vacas en el sistema tradicional de alimentación de ración totalmente mezclada (TMR), utilizando vacas Holstein de alta producción en lactancia temprana. Se planteó la hipótesis de que las vacas alimentadas con un sistema EF podrían tener una performance animal similar al de las vacas alimentadas con un sistema TMR.

En los resultados obtenidos se observó que las vacas alimentadas con un sistema EF, en el cual los componentes de la dieta son ofrecidos por separado, tuvieron similar consumo de materia seca total en comparación con vacas alimentadas en un sistema TMR (22,3 kg MS / día; $P > 0,05$). Los rendimientos de leche, grasa, proteína y sólidos totales fueron similares ($P > 0,05$) entre sistemas. Las vacas en EF seleccionaron una dieta de acuerdo a sus preferencias, lo que pudo haberles permitido alcanzar una producción de leche similar a la de las vacas en TMR, a pesar de las ventajas de las dietas mezcladas en el tratamiento TMR.

Este estudio experimental representa el primer estudio que investiga los resultados productivos de un sistema de alimentación simplificado en comparación a un sistema de ración totalmente mezclada en vacas lecheras.

Capítulo 4: Estudio de modelación para curvas de lactancia

El uso de modelos matemáticos es una herramienta útil para la simulación de las curvas de lactancia (Macciotta et al., 2011; Olori et al., 1999), que permiten imitar el proceso de producción de leche de una vaca o de un rodeo lechero en diferentes escenarios, y detectar desviaciones del rendimiento esperado, así como también predecir rendimientos futuros a partir de registros de lactancias incompletas (Adediran et al., 2011).

El estudio experimental presentado en el Capítulo 3 se realizó desde el momento inmediatamente posterior al parto hasta 80 ± 16 días de lactancia promedio. Para complementar los resultados del experimento, se utilizaron los registros diarios de producción obtenidos en dicho experimento y los datos de los controles lecheros de toda la lactancia, para realizar estudios de modelación, con el objetivo de predecir las curvas de lactancia en la lactancia completa. El estudio de modelación de las curvas de lactancia de los dos sistemas de alimentación, comparó el rendimiento de leche, grasa y proteína en el periodo residual y lactancia completa.

Los resultados obtenidos en el estudio de modelación de curvas de lactancia para vacas alimentadas con un sistema EF y un sistema TMR, indicaron que el modelo de polinomios de tercer orden resultó adecuado (indicador de precisión: $r = 0,90$ y $r = 0,97$ para el sistema de alimentación EF y el sistema TMR, respectivamente) para predecir las curvas de lactancia de vacas Holstein tanto en el sistema de alimentación TMR como en el sistema EF. El estudio de modelación permitió concluir que el sistema de alimentación no afectó los rendimientos de leche, grasa y proteína en leche durante la lactancia temprana, periodo residual y lactancia completa.

Capítulo 5: Estudio de simulación del sistema lechero completo

La simulación es una herramienta útil para representar características de los sistemas reales, siendo una alternativa práctica y de bajo costo, que permite evaluar diferentes escenarios productivos y económicos (Beukes et al., 2008; Baudracco et al., 2013).

El estudio de simulación, evaluó el resultado productivo, económico e incluyó un análisis de riesgo de los sistemas EF y TMR en la lactancia completa, utilizando como información de carga del modelo los datos obtenidos en el experimento del Capítulo 3 y los parámetros de la curva de lactancia promedio para cada sistema de alimentación, obtenidos en el Capítulo 4, integrando así los resultados producidos en toda la tesis. Los

resultados obtenidos en el estudio de simulación del sistema lechero completo, demostraron que los dos sistemas de alimentación generaron un resultado económico positivo. Sin embargo, el sistema EF presentó un resultado económico 21,6% superior al sistema TMR. Esta diferencia se explica porque ambos sistemas tuvieron similar producción de leche por lactancia, pero el sistema TMR tuvo mayores gastos asociados a la distribución de alimentos, comparado con el sistema EF. El sistema TMR tuvo un costo de distribución de alimentos de 3,5% del ingreso total en leche por ha por año. El sistema EF tuvo mayor rentabilidad en comparación al sistema TMR, 12,8% vs 10,0%, respectivamente, debido al mejor resultado económico, y menor inversión de capital en EF (menor capital de maquinarias asociado a la distribución de alimentos).

LIMITACIONES DE LA TESIS Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Los resultados que se presentan en esta tesis corresponden a un estudio experimental realizado en la lactancia temprana. Sería importante que investigaciones futuras sobre el sistema de alimentación simplificado exploren la performance animal en la lactancia completa, la inclusión de pasturas en la dieta y la cuantificación a campo de la demanda laboral y los costos asociados con la alimentación.

Durante el estudio experimental realizado en la presente tesis, a las vacas alimentadas en el sistema EF se les ofreció el ensilaje de maíz, directamente desde la bolsa de silo. Se colocó un boyero eléctrico para mantener el cuerpo de las vacas a 30 cm de la pared de ensilaje. En las semanas de mediciones de consumo de materia seca, debido a la imposibilidad de cuantificar el consumo desde la bolsa, el silaje se ofreció en comederos de 0,7 m de largo. Se utilizaron dos comederos por corral. Para investigaciones futuras se podría explorar otras formas de medición de consumo, como la adaptación de estructuras de madera cubiertas de nylon, que contengan silaje en cubículos y que imiten una bolsa, para ofrecer al animal situaciones más cercanas al consumo directo desde la bolsa.

En comparación al tratamiento TMR, las vacas del tratamiento EF pudieron seleccionar una dieta que contenía más ensilado de maíz (mayor contenido energético) y menos heno de alfalfa (menor contenido energético y baja calidad). La capacidad de las vacas en EF para seleccionar una dieta de acuerdo con sus preferencias, puede haber

permitido que las vacas en este tratamiento logaran un rendimiento de leche similar al TMR. A su vez, la proporción relativamente baja de concentrados utilizados en nuestro experimento (< 42%), que fue relativamente baja en comparación con experimentos similares, puede haber establecido un límite para la producción de leche de las vacas TMR. Investigaciones futuras deberían explorar sistemas de alimentación TMR con dietas de mayor calidad que la utilizada en el estudio experimental y compararla con el sistema simplificado e investigar el efecto de estos dos sistemas de alimentación sobre el desempeño reproductivo de los animales y a lo largo de varias lactancias.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La revisión de 24 estudios experimentales a nivel mundial permitió realizar una regresión por la cual se estima que, a partir de una producción de 14,21 kg de leche, por cada unidad de incremento en consumo de materia seca, la producción de leche se incrementa en 0,75 kg de leche.

2. El sistema de alimentación simplificado permitió lograr similares niveles de producción de leche por vaca, rendimiento de grasa y proteína, consumo de energía total, consumo de materia seca total, peso vivo, score de condición corporal, metabolitos plasmáticos y el tiempo dedicado a comer y rumiar que el sistema TMR.

3. En comparación con el sistema TMR, las vacas del sistema EF pudieron seleccionar una dieta que contenía más ensilado de maíz (mayor contenido energético) y menos heno de alfalfa (menor contenido energético y baja calidad). La capacidad de las vacas en EF para seleccionar una dieta de acuerdo con sus preferencias, pudo haber permitido que las vacas en este tratamiento logaran un rendimiento de leche similar al TMR. A su vez, la proporción relativamente baja de concentrados utilizados en nuestro experimento (< 42%), puede haber establecido un límite para la producción de leche de las vacas TMR.

4. Las curvas de lactancia modeladas sugieren similares rendimientos de leche, grasa y proteína en la lactancia temprana, en el período residual y en la lactancia completa para vacas alimentadas en un sistema EF comparado con vacas alimentadas en un TMR.

5. El resultado económico fue positivo para ambos sistemas evaluados. El sistema EF presentó valores superiores en resultado económico y rentabilidad que el sistema TMR, debido a que el sistema EF requiere un menor capital de inversión y costos asociados a las actividades de alimentación.

6. La posibilidad de obtener similares producciones en el sistema EF y TMR, con menores costos y menor inversión de capital, convierte al sistema EF en una tecnología de proceso de alto impacto económico.

7. En Argentina, el sistema de alimentación simplificado demostró ser una alternativa atractiva para los productores que quieren simplificar sus sistemas a partir de

menor inversión y uso de maquinarias, menor demanda de mano de obra y menores costos operativos.

8. Investigaciones futuras sobre el sistema de alimentación simplificado deberían explorar la performance animal en la lactancia completa, la inclusión de pasturas en la dieta, el uso de dietas de alta calidad y la cuantificación de la demanda laboral y los costos asociados con la alimentación.

REFERENCIAS

- Adediran SA, Ratkowsky DA, Donaghy D.J., Malau-Aduli A.E.O. 2012. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95 :5344–5356. doi:10.3168/jds.2011-4663
- Beukes PC, CC Palliser, KA Macdonald, JAS Lancaster, G Levy, BS Thorrold and ME Wastney. 2008. Evaluation of a whole-farm model for pasture-based dairy systems. *J D Sci.* 91:2353-2360
- Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Comeron EA, MacDonald KA and Barry TN 2013. E-Dairy: a dynamic and stochastic whole-farm model that predicts biophysical and economic performance of grazing dairy systems. *Animal* 7: 870–878.
- Eastridge ML. 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. *Journal of dairy science*, 89: 1311-1323.
- Macciotta NPP, Corrado D, Salvatore P.G. R, Roberto S, Giuseppe P 2011. *Italian Journal of Animal Science* 2011; volume 10:e51.
- Olori VA , Brotherstone S, Hilla WG, McGuirk BJ 1999. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science* 58: 55–63

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral por la formación de posgrado y brindarme una casa de trabajo.

A CONICET por financiar el trabajo a través del programa de becas doctorales.

A INTA por financiar el trabajo experimental realizado en esta tesis. Agradecer especialmente a Gerardo Gagliostro, Luis Romero, Eduardo Comeron y Alejandra Cuatrin por su acompañamiento durante el trabajo experimental y sus aportes valiosos para el trabajo.

A Javier Baudracco por brindarme la oportunidad de realizar mi estudio de doctorado bajo su dirección, por el tiempo dedicado a mi formación y por sus aportes muy valiosos a la tesis.

A José Maiztegui por contribuir valiosamente a mi formación y trabajo de tesis.

A Cecilia Cajarville, Joselo Repetto y Noelia Silva del Rio, por darme la oportunidad de formar parte de sus equipos de trabajo durante mis estancias doctorales fuera del país y contribuir valiosamente a mi formación.

A mis Padres por su amor y apoyo incondicional.

A Dios por esta hermosa etapa de mi vida.