MEJORAR LA PRECISIÓN *nutricional y economía mediante* LA ESTRATEGIA DE AGRUPACIÓN DE RACIONES MÚLTIPLES

El objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación de la estrategia de agrupamiento nutricional (NGS) para mejorar la precisión y reducir los costes de la alimentación de las vacas lactantes 148±65 DIM.

JORGE A BARRIENTOS, RANDY D. SHAVER, VÍCTOR CABRERA, Y DI LIANG
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LÁCTEOS, UNIVERSIDAD DE WISCONSIN-MADISON

Se utilizó una granja lechera comercial de 2500-vacas lecheras de Wisconsin para el estudio. Se Utilizaron ochenta y cuatro días (el 1 de Junio - Agosto 22, 2017) de datos, incluidas las distintas actuaciones productivas y reproductivas de la vaca, para simular NGS. Tres establos (476 vacas) total de vacas multíparas actualmente agrupados en 3 establos indiscriminadamente, se reagruparon usando el algoritmo k-medias basado en los requisitos de su energía neta (NE) y proteína metabolizable (MP). Se desarrolló una ecuación para calcular un índice de exactitud de la dieta (DAI = | [dieta nutrientes establo / DMI] - [El Requisito nutriente requerido / DMI]|) para evaluar y comparar la precisión nutricional de la alimentación de las vacas agrupadas por NGS contra la estrategia de agrupamiento de granja (FGS). Cuanto menor sea el valor de los DAI, más precisa será la dieta. Se utilizó el Mínimo Algoritmo de mínimos cuadrados (L2 - Norma) para calcular los requisitos más representativos de NE y MP por establo de NGS. Estos requisitos de valores NE y MP donde fueron utilizados para formular dietas con la misma receta y con igual o menor coste que la dieta actual de la granja. Se compararon los resultados de las granjas a las que se había suministrado NE, MP en las dietas, DAI y el coste por establo en la granja, utilizando NGS. Los resultados de la simulación sugieren que NGS y necesidades nutricionales se ajusten en las dietas para aumentar la precisión de NE y MP en la dieta. Los valores del índice de precisión de la dieta fueron menores para NGS tanto en NE y MP. La dieta N fue menor para los NGS de FGS y mejoró el porcentaje de la eficiencia N de leche (MNE). El coste total de 84 días de alimentación vacas en lactación usando FGS fue de $307,667, mientras que los ahorros del coste de la dieta fueron $302,384 para NGS; $5,283. Aplicación de NGS en grupos de vacas en lactación tiene el potencial de aumentar la precisión nutricional de las dietas y los ahorros mediante la reducción de los costes de la dieta.

INTRODUCCIÓN

La creciente volatilidad de los precios de los piensos y la leche están desafiando el negocio de la granja lechera. Desde el punto de vista de la nutrición, la agrupación de las vacas en grupos con necesidades nutricionales más homogéneos, para alimentar las vacas con mayor precisión nutricional, es una posible estrategia para mitigar los problemas económicos que enfrentaban las explotaciones lecheras. Varios autores han demostrado que esta estrategia de agrupamiento nutricional puede generar beneficios económicos y productivos en las explotaciones lecheras (Coppock 1977, McGilliard 1983, Pecsok, *et al.* 1992, Williams and Oltenacu 1992, Stallings 2011, Cabrera, *et al.* 2012, Kalantari, *et al.* 2016). A pesar de agrupar las vacas por su edad, estado reproductivo, y de salud es una práctica común en las explotaciones lecheras, no se ha sido ampliamente adoptada una estrategia de agrupamiento nutricional en las explotaciones lecheras, debido a las implicaciones de la gestión (Contreras-Govea *et al.*, 2014). Sin embargo, los posibles beneficios económicos y productivos de la estrategia de agrupación nutricional, las tecnologías disponibles de recopilación de datos, los sistemas de alimentación y prácticas de agrupamiento de vacas utilizada en las explotaciones lecheras, abre la posibilidad de desarrollar un modelo que facilita la implementación de la estrategia de agrupamiento nutricional sin cambios significativos en la administración de la granja ((Cabrera, *et al.* 2012, Cabrera y Kalantari, 2016; Kalantari, *et al.* 2016). El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de la estrategia de agrupamiento nutricional (NGS) para mejorar la precisión nutricional y reducir los costes de alimentación de vacas en lactación en una granja comercial durante la lactancia temprana (148±65 DIM).

Tabla 1. Perfil PEN's de diferentes granjas de vacas lecheras.

Número de PENs	Perfil de vaca lactante	Días en leche
5	Multíparas, el final de la lactancia	250-360
4	Vacas en primera lactancia	70-320
4	Multíparas, lactancia temprana	50-250
1	Fresco Primera lactancia	2-70
3	Fresco, multíparas	2-50
3	Hospital	—
1	Maternidad	0-2

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto de investigación se realiza siguiendo tres pasos principales, el análisis descriptivo de la gestión de la granja sobre la alimentación de vaca y agrupación, el desarrollo del modelo prescriptivo para implementar la estrategia de agrupamiento de nutrición y el análisis comparativo de la nutrición y economía. El análisis estadístico y la elaboración de modelos se realizó en el entorno del lenguaje de programación R studio®.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE GESTIÓN AGRÍCOLA

La comprensión de la gestión de la alimentación de la vaca y su agrupación en una granja lechera es un paso crucial en el desarrollo de una herramienta de estrategia de agrupamiento de nutrición. El análisis descriptivo del sistema de granja fue realizado en tres pasos, recopilación de datos, la comprensión de la actual estrategia de gestión de la agrupación de vaca, y la analítica descriptiva.

Se recopilaron datos de diario comercial a gran escala de una granja lechera de 2500 vacas Holstein lactantes ubicado en Wisconsin. Se descargó un conjunto de datos de 84-días (el 1 de Junio - Agosto 22, 2017) que incluía las distintas actuaciones productivas y reproductivas de la vaca, se descargó de Dairy comp 305 (DC305), Feed Watch,

Tabla 2. Resumen estadístico de establos vacas en lactancia temprana multíparas.

Variable	Vacas en lactancia temprana multíparas		
	PEN1	PEN2	PEN3
Número de vacas/ Establo	148±2.3	147±2.9	149±2.1
Lactancia (n)	2.8±0.96	2.8±0.99	2.9±1.14
DIM (días)	138.7±53.4	143.2±60.9	147.6±65.2
Intervalo de cría (días)	394.3±55.0	401.1±69.5	399.5±60.1
Producción de leche (Kh/día)	51.0±7.0	51.8±7.3	51.7±7.0
Grasa (%)	3.86±0.81	3.78±0.80	3.80±0.74
Proteína cruda (%)	2.97±0.24	2.95±0.26	2.92±0.23
Peso del cuerpo (Kg)	718.7±6.9	719.3±7.9	719.9±8.4
DMI(Kg/día)	30.1±2.9	29.7±1.5	30.3±1.3

Smart Dairy y software de NDS. Para calcular parámetros de las necesidades diarias de nutrición por vaca se fusionaron los cuarto conjuntos de datos utilizando la función de combinación de R studio.

Actualmente, el administrador de la granja agrupa las vacas basándose en los días en leche (DIM), el estado de salud y el número de lactancias. Una descripción de los distintos establos de vacas en lactación en la granja se encuentra en la **Tabla 1**. Se cambian las vacas a distintas establos cada semana los martes durante el turno de noche. La clasificación de las vacas se realiza mediante la instalación de una orden automática, donde un sensor reconoce el collar de identificación la vaca. La decisión de mover las vacas se realiza semanalmente y es introducida manualmente en el software DC305 por el administrador de la finca. Si hay un error en la lista de movimiento o hecho por el sensor de clasificación, los empleados tienen que desplazar la vaca manualmente.

Para simular la aplicación de la estrategia de agrupamiento nutricional, un grupo de 476 vacas multíparas en lactancia temprana (148±65 DIM) fue seleccionado. Este grupo de vacas es asignado actualmente a tres establos indiscriminadamente. Resumen estadístico de grupos analizados de la vaca lactante se encuentra en la **Tabla 2**.

DESARROLLO DE UN MODELO PRESCRIPTIVO

Un modelo matemático desarrollado en R Studio® para calcular los requerimientos nutricionales deterministas de la vaca, vacas agrupadas en corrales basándose en la proteína metabolizable de vaca (MP) y los requisitos de la energía neta (NE), y para la formulación de la dieta.

Parámetros deterministas

Los parámetros nutricionales deterministas se calcularon utilizando las fórmulas NRC (2001). Los parámetros nutricionales, el consumo de materia seca (DMI) en kilogramos por día, NE (Mcal/kg; Mcal/día) y MP (g/día) se calcula en función del peso corporal (BW), la producción de leche y componentes, la grasa de leche corregida (FCM) y DIM. Debido a los datos limitados el peso corporal individual de la vaca BW fue simulado de acuerdo a la información disponible y las funciones predefinidas siguientes Kalantari *et al.* (2016).

Consumo de materia seca: El DMI diaria por vaca fue calculado como una función de BW, FCM y semana de lactancia (WOL;el NRC, 2001), y ajustado con los registros DMI de la granja.

$$DMI_i\left(\frac{kg}{day}\right) = \left(0.372 \times FCM_i + 0.0986 \times BW_i^{0.75}\right) \times \left(1 - e^{(-0.192\times(WOL+3.67))}\right) \quad [1]$$

$$DMI_{Adjusted}\left(\frac{kg}{day}\right) = \left(\frac{DMI_{Farm,PEN}\left(\frac{\sum kg}{day}\right)}{DMI_{PEN}\left(\frac{kg}{day}\right)}\right) \times DMI_i\left(\frac{kg}{day}\right) \quad [2]$$

Donde, es el DMI calculado por vaca de la ecuación 1, es el registro DMI de la granja que se calcula restando la alimentación negativa de la alimentación proporcionada por establo, y es la media calculada del DMI per PEN (establo).

La energía neta: El requisito de energía neta total (NE) (Mcal/día) se calcula como una función de la energía neta de mantenimiento, la energía neta para la producción de leche, y la energía neta para el crecimiento utilizando las ecuaciones del NRC (2001). La exigencia de concentración NE (Mcal/kg de MS) por vaca se calculó dividiendo NE (Mcal/día) por DMI (kg/ día). La concentración NE (Mcal/kg de DM) ofrecida en la dieta actual de la granja se calculó dividiendo el ofrecido NE (Mcal/ día) por DMI (kg/día) de granja.

Proteína Metabolizable: El requisito de la proteína metabolizable total neta (MP) se calcula como una función de la MP de mantenimiento, la MP para la producción de leche, y la MP para el crecimiento utilizando las ecuaciones del NRC (2001).

La eficiencia del nitrógeno de la leche: La eficiencia del nitrógeno (MNE) de leche por vaca se calculó dividiendo el total diario de proteína de leche (TMP) producido por el nitrógeno total ofrecido (DOFN) en la dieta.

Índice de precisión de la dieta: Hemos desarrollado el índice de exactitud de la dieta (DAI) para evaluar la exactitud de la nutrición de las dietas. Los DAI contrastan el requisito de nutrientes versus los nutrientes ofrecidos en la dieta y se calcula en términos absolutos los valores positivos.

$$DAI_{PEN} = \sum_{i=1}^{cow}\left(\frac{NE_{DIET,PEN}}{DMI_{Farm,PEN}} - \frac{NE_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\right),$$

$$DAI_{PEN} = \sum_{i=1}^{cow}\left(\frac{MP_{DIET,PEN}}{DMI_{Farm,PEN}} - \frac{MP_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\right), \quad [3]$$

Interpretar Dai: La precisión de la dieta es inversamente proporcional a la magnitud del valor calculado del DAI. Cuanto más cerca este este valor a cero, mejor será la precisión de la dieta. Ya que dado que el DAI por establo es una suma de los valores absolutos, el DAI por establo incluye vacas sobrealimentadas y subalimentadas.

Agrupar las vacas

Agrupar las vacas es una estrategia común entre los granjeros lecheros. Se aplica a las vacas de estabuladas considerado su producción de leche, tiempo de lactancia, la salud, la edad y estado de reproducción. Teniendo en cuenta los mismos factores para agrupar la práctica de las vacas y los requerimientos de parámetros nutricionales, hemos desarrollado una herramienta matemática que ayuda a implementar la estrategia de agrupamiento nutricional en granjas lecheras.

Se desarrolló una sección modelo para agrupar 476 vacas multíparas, en el comienzo de la lactancia (148±65 DIM), en tres establos distintos usando NE (Mcal/kg) y MP (g/kg de DMI) como criterio de agrupación. El objetivo era mejorar la precisión nutricional por PEN sin generar cambios importantes en la estrategia de gestión de la agrupación aplicada por el agricultor.

El paquete K-means de R studio® fue utilizado para agrupar los grupos de vacas en tres diferentes establos, usando los valores normalizados de NE y MP como criterio de agrupación. El algoritmo k-means calculó tres (k=número de PENs) centros diferentes (los datos significan: y) y asignó los valores y más cercanos a cada centro. El algoritmo de agrupación se ejecutaba cada semana los lunes, igual que como se hace usualmente en la granja.

Formulación de la dieta

La determinación de los factores de plomo óptimo, NE y MP, que se utilizan en la formulación de la dieta de cada PEN se hizo en dos etapas. Optimizando la precisión nutricional de la dieta y determinando el factor de plomo óptimo dentro de la distribución de requisitos del NE y MP de cada establo.

Optimizando el suministro de nutrientes de la dieta: El NE y MP óptimo para ser consumido por la vaca, se calcula igualando a cero la diferencia del requisito de los nutrientes agregados aportado a un grupo de vacas.

La energía neta:

$$\frac{NE_{DIET}}{DMI_{Farm,PEN}} - \frac{NE_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}} = 0\,,$$

$$\frac{NE_{DIET}}{DMI_{Farm}} = \frac{NE_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\,,$$

$$NE_{DIET} = DMI_{Farm,PEN} \times \frac{NE_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\,, \quad [4]$$

Proteína Metabolizable:

$$\frac{MP_{DIET}}{DMI_{Farm,PEN}} - \frac{MP_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}} = 0\,,$$

$$\frac{MP_{DIET}}{DMI_{Farm}} = \frac{MP_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\,,$$

$$MP_{DIET} = DMI_{Farm,PEN} \times \frac{MP_{REC(i)}}{DMI_{CALC(i)}}\,, \quad [5]$$

Optimización del factor principal: La ecuación de mínimos cuadrados L2-norm del paquete R studio® fue utilizada para minimizar el valor de mínimos cuadrados de cada distribución de requerimientos nutricionales del PEN, que se usó como valor de referencia para encontrar los factores principales para la formulación de la dieta NE y MP.

Formulación de la dieta: Las dietas de cada establo fueron formuladas para cada semana utilizando software de NDS. Los valores de entrada para equilibrar las diferentes dietas nutricionales fueron obtenidos a partir del modelo de agrupación. La energía neta, los factores de dirección MP y los resúmenes estadísticos sobre el perfil de las vacas en cada establo de los resultados del modelo de agrupación nutricional, fueron utilizados para rellenar entradas requeridas del software NDS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

AGRUPAR LAS VACAS

Una práctica común en esta comunidad es asignar el grupo de 472 vacas indiscriminadamente a tres diferentes establos. Esto explica la distribu-

ción similar de MP (g/kg de DM) y NE (Mcal/ kg de DM) requisitos de vaca entre establos 1-3 (**Figura 1**).

Después de calcular el MP (g/día) y el NE (Mcal/kg de MS) óptimo para cada vaca en el grupo, se dividió el MP (g/día) por para obtener el MP (g/kg de DM) y ambos los valores de nutrientes de la NE y MP se normalizaron y se agruparon en tres grupos utilizando el algoritmo k-means de R. En la **figura 2** están los resultados del algoritmo k-means, donde los puntos gris, amarillo y azul son el grupo de vacas con requisitos de NE y MP bajos, medios y altos, respectivamente. Los valores de punto gris fueron asignados al establo 1, los valores de punto amarillo a PEN 2, y valores de punto azul a PEN 3.

Una vez que fueron creados los establos por agrupación nutricional, se generó una nueva distribución de NE y MP para cada establo (consulte la **Figura 3**).

Se asignó a las vacas unos grupos de requisitos nutricionales homogéneos implementando el algoritmo k-means como herramienta de agrupación nutricional. Por lo tanto, sus dietas tenían mayor precisión nutricional. Los resultados de la Tabla 3 indican una mayor DAI para NE y MP con Pens de agrupación nutricional en comparación a la agrupación actual de granjas. A diferencia de la agrupación de Pens, los valores NE y MP DAI para cada agrupación nutricional Pen se acerca a cero, lo que indica una mayor precisión de las dietas formuladas para estos Pens. La mayor precisión nutricional de las dietas se refleja en los ajustes de NE y MP suministrados en las dietas para Pens de agrupación nutricional.

La DMI calculados para establos de agrupación nutricional fue de 0,11 (kg/día) inferior actual DMI de granja. Esta pequeña diferencia se explica por el ajuste del IMD en la ecuación [2]. Los valores MP (g/vaca/día) utilizados como el principal factor para la formulación de las dietas de establos agrupados- nutricionalmente fue limitado por el requisito MP (g/día), para cada establo de vacas agrupadas nutricionalmente. La personalización de dietas para cada establo agrupado- nutricionalmente, con requerimientos nutricionales más homogéneos, resultó en un promedio concentración de dieta menor

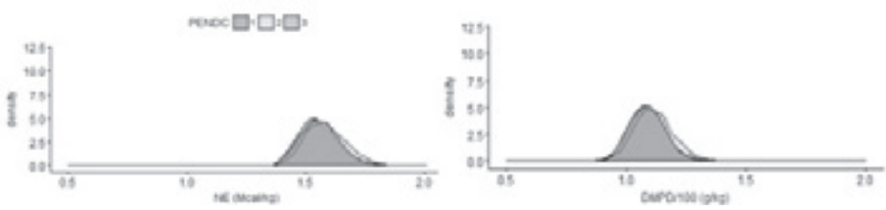

Figura 1. Distribución de la NE (Mcal/kg, izquierda) y MP (g/ kg, derecha) requisitos de vaca entre establos 1-3 estrategia de agrupamiento en la granja la actual.

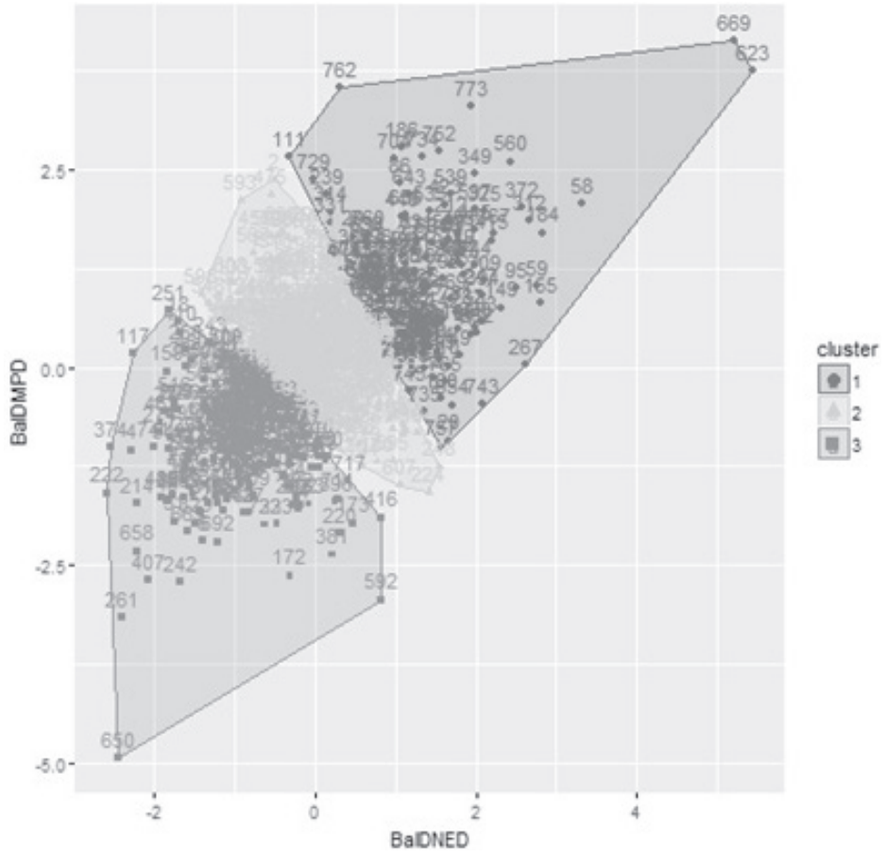

Figura 2. Resultados de parcelas de grupos nutricionales K-means.

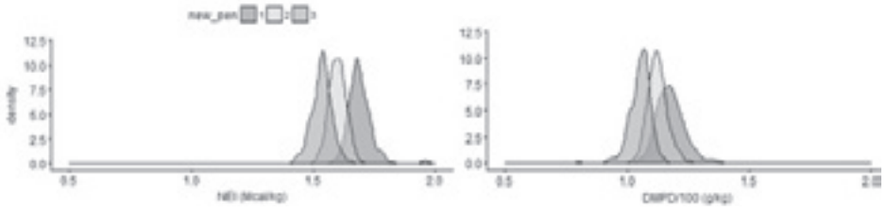

Figura 3. Distribución de la NE (Mcal/kg, izquierda) y MP (g/kg, derecha) requisitos de vaca entre establos 1-3 en estrategia de agrupamiento nutricional.

Tabla 3. Efecto nutritivo y económico de la granja y la estrategia de agrupamiento nutricional en un grupo de 472 vacas en lactancia temprana multíparas durante 84 días (el 1 de Junio - Agosto 22, 2017).

Parámetro	Estrategia de agrupamiento de granja (FGS)			Estrategia de agrupamiento nutricional (NGS)			FGS - NGS
	PEN1	PEN2	PEN3	PEN1	PEN2	PEN3	Todas las PENs
DMI (kg/ vaca/d)	30.1± 2.92	29.7± 1.48	30.3± 1.28	30.2± 0.98	29.7± 1.18	29.8± 1.13	-0,14
Dieta NE (Mcal/kg)	1,74			1.65± 0.02	1.69± 0.01	1.73± 0.01	-0,05
Dieta MP(g/kg)	120.9± 36.2	119.3± 6.68	116.7± 4.87	110.0± 4.04	110.4± 8.34	113.6± 59	-7,67
Dieta N (g/ vaca/d)	770,3			745.0± 53.4	757.0± 41.1	760.0± 51.6	-16,3
MNE (%)	31.3± 4.11	31.5± 4.22	31.2± 3.98	32.8± 3.09	31.4± 2.79	32.6± 2.74	0,90
DAI NE (Mcal/kg)	0.246± 0.424	0.164± 0.086	0.184± 0.081	0.032± 0.029	0.045± 0.053	0.034± 0.025	-0,16
DAI MP (g/kg)	9.69± 7.24	8.85± 6.27	9.06± 5.83	3.42± 3.15	4.85± 5.19	3.91± 3.11	-5,14
Coste Dieta ($/84 días)	$307,666			$302,383			$5,283

de MP (7,7 g/kg) en comparación con la actual concentración de MP.

La dieta de mayor precisión en las dietas para la agrupación nutricional genera beneficios ambientales. La reducción de la MP (g/kg de DM) suministrado en la dieta nutricional agrupando los establos resultaron en aporte menor N en la dieta (16,3 g/ vaca/día) como en la Tabla 3. Esto se tradujo en una mayor eficiencia de la leche-N en una unidad de 0.9%.

La disminución en el costo promedio de las dietas nutricionales para establos agrupados resultó en ahorros económicos para la comunidad. Como en la **Tabla 3**, el costo de alimentar 472 vacas durante 84 días, utilizando la estrategia de agrupamiento nutricional propuesto era de $5,283 menos costoso que la actual estrategia de agrupamiento de granja.

CONCLUSIONES

La estrategia de agrupamiento nutricional mejora la precisión nutricional en la alimentación y genera ahorros de costes. Con NE y MP como criterios para la agrupación nutricional resultó en grupos más homogéneos de vacas en términos de necesidades nutricionales. La agrupación estrategia nutricional aumentó la precisión nutricional de las dietas. El aumento en la precisión nutricional de la dieta dio como resultado una mejor asignación de energía neta y suministro de dieta de proteína metabolizable a los grupos nutricionales. Una mayor precisión del suministro de N por las dietas con agrupamiento nutricional puede disminuir el desecho de N y aumentar la eficiencia del N en la leche en beneficio del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, V. E, F Contreras, R. D Shaver, and L. E Armentano. 2012. "Grouping strategies for feeding lactating dairy cattle. Grouping strategies for feeding lactating dairy cattle." Four-State Dairy Nutrition and Management Conference. Dubuque, IA: Wisconsin Agri-business Association, Madison. 40-44.
- Cabrera, V. E., and A. S. Kalantari. 2016. Economics of production efficiency: Nutritional grouping. Journal of Dairy Science 99:825–841.
- Contreras-Govea, F. E, V. E Cabrera, L.E Armentano, R. D Shaver, P. M Crump, D. K Beede, and M. J Vandehaar. 2014. "Constraints for nutritional grouping in Wisconsin and Michigan dairy farms." Jurnal Dairy Science 1336- 1344. http://dx.doi.org/ 10.3168/jds.2014-8368.
- Coppock, Carl E. 1977. "Feeding Methods and Grouping Systems." Journal of Dairy Science 60 (8): 1327-1336. doi:https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302 (77)84030-7.
- Kalantari, A. S, L. E Armentano, R. D Shaver, and V. E Cabrera. 2016. "Economic impact of nutritional grouping in dairy herds." Journal Dairy Science 1672-1692. http:// dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9810.
- McGilliard, M. L., J. M. Swisher, and R. E. James. 1983. "Grouping Lactating Cows by Nutritional Requirements for Feeding." Journal of Dairy Science 66 (5): 1084-1093. doi:https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81905-5.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academies Press, Washington, DC.
- Pecsok, S.R, M.L McGilliard, R.E James, T.G Johnson, and J.B Holter. 1992. "Estimating Production Benefits Through Simulation of Group and Individual Feeding of Dairy Cows." Journal of Dairy Science 75 (6): 1604-1615. doi:https:// doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77917-X.
- Stallings, Charles C. 2011. "Feeding Cows with Increasing Feed Prices: Efficiencies, Feed Options, and Quality Control." Proceedings 47th Florida Dairy Production. Gainesville. 40-45. http://dairy.ifas.ufl.edu/dpc/2011/Stallings.pdf.
- Williams, C.B, and P.A Oltenacu. 1992. "Evaluation of Criteria Used to Group Lactating Cows Using a Dairy Production Model." Journal of Dairy Science 75 (1): 155-160. doi:https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77749-2.

GUSTOR N'RGY®

Butirato Sódico Protegido

más información

norel.net/proteccionNRGY

Fuente de energía para una producción animal eficiente

NOREL ANIMAL NUTRITION

T. +34 915 014 041 | info@norel.net | www.norel.net