

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA
RUMIANTES: ANÁLISIS DEL NUEVO SISTEMA
SYSTALI**

presentado por

GAIZKA LANDA GOYA(e)k

aurkeztua

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN
INGENIARITZAN**

JUNIO 2018 / 2018eko, ekaina

AGRADECIMIENTOS

Estas líneas son para agradecer a todas aquellas personas que, de una forma u otra, han contribuido a la realización del presente trabajo.

En primer lugar, agradecer a mi familia y a mis padres el apoyo y los ánimos transmitidos durante estos meses. Agradecer a mi padre, los conocimientos que me ha ido transmitiendo durante toda mi vida. Dar gracias especialmente a Ana, por apoyarme tanto en esos momentos de crisis y estar siempre a mi lado y a Pablo por esos domingos de Excel.

Agradecer a INTIA, S.A. y a sus técnicos, con los que he disfrutado y aprendido mucho, la disposición para acogerme durante este trabajo. Sobre todo, a Juan Carlos Iriarte nutrólogo de INTIA, S.A. por su constancia, trabajo y profesionalidad y por todo el tiempo que han invertido en enseñarme y ayudarme con el trabajo. Gracias a él, he conseguido sumergirme en el mundo de la nutrición de vacuno de leche.

También a Kizkitza Insausti, tutora, su disposición y su inestimable ayuda tanto en la redacción del proyecto como en el tratamiento estadístico.

Finalmente, a todos aquellos técnicos que se han mostrado dispuestos a resolver mis dudas y curiosidades.

RESUMEN

España es el séptimo productor de leche en la UE y siendo los costes de alimentación los mayoritarios en las explotaciones de vacuno lechero, el sistema de alimentación utilizado tiene una repercusión directa en la rentabilidad de las explotaciones. Además de los aspectos productivos, el nuevo sistema Systali, aboga por la eficiencia e introduce el impacto medioambiental como factor a tener en cuenta a la hora de planificar la alimentación. Por tanto, el objetivo del presente proyecto es crear un protocolo de gestión de datos de raciones y alimentos para facilitar la valoración de raciones mediante la herramienta Systool web. Posteriormente, mediante ese protocolo de datos se pretende valorar 16 raciones diferentes que están siendo utilizadas por 8 socios de INTIA, S.A. con el objetivo de realizar un acercamiento práctico al nuevo sistema Systali.

Tras analizar los resultados, el nuevo sistema Systali hace una valoración energética de los alimentos, tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, inferior a la que se ha realizado hasta el momento con las tablas de 2007.

En cuanto a la valoración de la ración, parece que, tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, la degradabilidad del nitrógeno y la energía neta en UFL son inferiores a los valores calculados con las tablas de 2007. Por otro lado, las pérdidas de energía en forma de metano son menores tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, probablemente debido a la bajada de la degradabilidad del nitrógeno. Los resultados obtenidos del índice de riesgo de acidosis parecen indicar que las raciones analizadas no tienen riesgo de producir acidosis.

Finalmente, dada la variación de valoración de diferentes parámetros de la ración, parece que el racionamiento en el futuro se debe realizar de una manera dinámica y no lineal.

Palabras clave: ración, alimento, energía, proteína, INRA, Systali

ABSTRACT

Spain is the seventh producer of milk in the EU and feed costs are the higher in dairy farms thus, the feed system used has a direct impact on the profitability of the farms. In addition to the productive aspects, the new Systali system advocates for efficiency and introduces environmental impact as a factor to take into account when planning feeding. Therefore, the objective of this project is to create a rations and food data management protocol to facilitate the assessment of rations through the Systool web tool. Subsequently, through this data protocol it is intended to evaluate 16 different rations that are being used by 8 partners of INTIA, S.A. with the aim of making a practical approach to the new Systali system.

After analysing the results, it seems that the new Systali system makes an energy evaluation of food, after applying the rates of passage and digestive interactions, lower than the one obtained with the tables of 2007.

Looking to the ration results, it seems that after, applying the rate of passage and the digestive interactions, the degradability of nitrogen and net energy in UFL are lower than the values calculated with the tables of 2007. On the other hand, the energy losses in methane form are lower after applying passage rates and digestive interactions, probably due to the lower nitrogen degradability. The results obtained from the acidosis risk index seem to indicate that the rations analysed have no risk to produce acidosis.

Summarising, after seeing the variation of evaluation of different parameters of the ration, it seems that the rationing in the future must be carried out in a dynamic way and not in a lineal way.

Keywords: *ration, aliment, protein, energy, INRA, Systali*

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	SITUACIÓN DEL SECTOR LÁCTEO.....	2
1.1.1	El sector lácteo a nivel mundial y estatal	2
1.1.2	Importancia del sector lácteo a nivel local (Navarra)	3
1.2	IMPORTANCIA DE LA ALIMENTACIÓN	4
1.2.1	Fibra.....	4
1.2.2	Energía	5
1.2.3	Proteína	6
1.2.4	Minerales	6
1.2.5	Vitaminas	6
1.2.6	Agua	8
1.3	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN	9
1.3.1	Sistema de alimentación INRA.....	9
1.3.2	Sistema NRC.....	11
1.3.3	Sistema CNCPS (Cornell)	12
1.3.4	Otros sistemas de alimentación	13
1.4	RENOVACIÓN DE UNIDADES DE ALIMENTACIÓN INRA: SYSTALI.....	13
1.4.1	Por qué aparece el sistema Systali	13
1.4.2	Tasas de paso en el rumen	14
1.4.3	Digestión de proteína y almidón en el rumen.....	15
1.4.4	Balance proteico del rumen (BPR).....	15
1.4.5	Interacciones digestivas	16
1.4.6	Materia orgánica fermentada en el rumen (MOF)	18
1.4.7	Producción de ácidos grasos volátiles	19
1.4.8	Producción de proteína microbiana (PDIM)	19
1.4.9	Digestión en el intestino	20
1.4.10	Pérdidas de energía en forma de orina y metano	20
1.4.11	Índice de Riesgo de Acidosis (IRA).....	21
2	OBJETIVOS	24
3	MATERIAL Y MÉTODOS	26
3.1	MATERIAL.....	26
3.1.1	Systali y Systool web.....	26
3.1.2	Raciones INTIA S.A.....	26
3.1.3	Aplicaciones de tratamiento de datos	28

3.2	MÉTODO	28
3.3	ESTADÍSTICA	29
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1	PROTOCOLO DE TRATAMIENTO DE DATOS	30
4.1.1	Subida de datos	30
4.1.2	Descarga de datos	36
4.2	APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA SYSTOOL WEB EN RACIONES DE VACUNO DE LECHE	38
4.2.1	Alimentos	38
4.2.2	Raciones	39
5	CONCLUSIONES	52
6	BIBLIOGRAFÍA	54
7	ANEXOS.....	56
7.1	ANEXO A.....	56
7.2	ANEXO B.....	57

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Tasa de paso de partículas de forraje	14
Ecuación 2 Tasa de paso de partículas de concentrado.....	14
Ecuación 3 Tasa de paso de líquidos	14
Ecuación 4 Tasa de paso de partículas sólidas	14
Ecuación 5 Degradabilidad efectiva.....	15
Ecuación 6 Balade Proteico del Rumen	15
Ecuación 7 Balade Proteico del Rumen	15
Ecuación 8 Nitrógeno urinario	15
Ecuación 9 Influencia de la interacción digestiva en la DMO	16
Ecuación 10 Interacciones digestivas.....	16
Ecuación 11 Interacciones digestivas según FL	17
Ecuación 12 Interacciones digestivas según PCO.....	17
Ecuación 13 Interacciones digestivas según BPR	18
Ecuación 14 Materia orgánica fermentable.....	18
Ecuación 15 Ácidos grasos totales.....	19
Ecuación 16 Proteína de origen microbiano	19
Ecuación 17 Proteína de origen microbiano.....	20
Ecuación 18 Digestibilidad en el intestino.....	20
Ecuación 19 Proteína bruta no degradable presente en el intestino	20
Ecuación 20 Energía perdida en forma de metano por materia orgánica digestible....	21
Ecuación 21 Pérdida de energía en orina.....	21
Ecuación 22 Índice de riesgo de acidosis.....	22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Vitaminas, función biológica y fuentes principales (Fuente: INRA, 2018).....	7
Tabla 2: Necesidades de agua en función de la temperatura ambiental (Fuente: El agua potable principal nutriente de las vacas, 2004).....	8
Tabla 3: Raciones analizadas (Fuente: propia).	27
Tabla 4: Ejemplo de entrada de datos de forrajes (Fuente: Propia).	30
Tabla 5: Ejemplo de entrada de datos de concentrado (Fuente: Propia).	31
Tabla 6: Ejemplo de archivo de una ración (Fuente: Propia)	31
Tabla 7: Ejemplo de archivo de alimentos de una ración (Fuente: Propia).	32
Tabla 8: Ejemplo de un archivo user de una ración (Fuente: Propia).....	34
Tabla 9: Diferencias de valoración de energía (UFL) entre 2007, Systali (Fuente: propia).	38
Tabla 10: Degradabilidad del nitrógeno (%): Media y error estándar medio (SEM).....	42
Tabla 11: Energía neta en UFL: Media y error estándar medio (SEM).	44
Tabla 12: Energía perdida en forma de metano (kcal): Media y error estándar medio (SEM).	46
Tabla 13: Ejemplo de informe de un alimento (Fuente: Propia).	57
Tabla 14: Ejemplo de informe de una ración (Fuente: Propia).	58

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Cascada de energías (Fuente: Feed nutrients).....	5
Ilustración 2: Estructura de archivos de descarga (Fuente: Chapoutot y Martin, 2017).37	
Ilustración 3: Pantallazo de un ejemplo de devolución de datos de Systool web.	56
Ilustración 4: Pantallazo de un ejemplo de devolución de datos de Systool web.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado de tasa de paso de partículas sólidas.	40
Gráfico 2: Relación entre IMS y Tasa de paso (Fuente: Propia).	40
Gráfico 3: Resultados obtenidos de la degradabilidad del nitrógeno.....	41
Gráfico 4: Resultados obtenidos del Balande Proteico del Rumen.	43
Gráfico 5: Resultados obtenidos de Energía neta en UFL.	44
Gráfico 6: Relación entre EN (UFL) y tasa de paso (%/h).....	45
Gráfico 7: Resultados obtenidos de la energía perdida en forma de CH ₄	46
Gráfico 8: Relación entre PB y perdida de energía.	48
Gráfico 9: Resultados obtenidos del Índice de Riesgo de Acidosis.....	48
Gráfico 10: Resultados obtenidos de pH según la FND y según el almidón digestible en el intestino.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV: Ácido Graso Volátil	MS: Materia Seca
BPR: Balance Proteico del Rumen	PB: Proteína Bruta
CP: Proteína bruta (inglés)	PCO: Proporción de Concentrado
DMO: Digestibilidad de la Materia Orgánica	PDI: Proteína Digestible en el Intestino
Dr: Digestibilidad intestinal	PDIA: Proteína Digestible en el Intestino de origen Alimentario
ECM: Litros de leche corregida al 4% de grasa y 3,3% de proteína	PDIE: Proteína Digestible en el Intestino cuando la Energía es limitante
ED: Energía Digestible	PDIN: Proteína Digestible en el Intestino cuando el Nitrógeno es limitante
EM: Energía Metabolizable	PF: Productos de Fermentación
EN: Energía Neta	PIR: Proteína no degradable en el rumen
FAD: Fibra Ácido Detergente	PM: Proteína Metabolizable
FB: Fibra Bruta	PV: Peso Vivo
FL: Nivel de ingestión	UE: Energía perdida en forma de metano en orina
FND: Fibra Neutro Detergente	UF: Unidad Forrajera
IMS: Ingestión de Materia Seca	UFC: Unidad Forrajera para Carne
Kct: Tasa de paso de partículas	UFL: Unidad Forrajera para Leche
Kft: Tasa de paso de partículas de forraje	UL: Unidad Lastre
Klt: Tasa de paso de líquidos	ULB: Unidad Lastre para Bovinos
Kpt: Tasa de paso de partículas sólidas	ULL: Unidad Lastre para producción de Leche
LAD: Lignina Ácido Detergente	ULO: Unidad Lastre Ovina
MF: Materia Fresca	UN: Nitrógeno Urinario
MO: Materia Orgánica	VL: Valor Lastre
MOD: Materia Orgánica Digestible	
MOF: Materia Orgánica Fermentable	

1 INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN DEL SECTOR LÁCTEO

El sector de vacuno de leche se caracteriza por ser un sector muy profesional en el que se abarcan con minuciosidad todos los aspectos que afectan a la producción. Es por ello que este trabajo se centra en uno de ellos, el más importante si cabe, la alimentación. A continuación, se exponen algunas razones sobre la importancia de este sector a diferentes niveles.

1.1.1 El sector lácteo a nivel mundial y estatal

Antes de hablar de la importancia de la nutrición animal en concreto, resulta interesante comentar algunos datos del sector a nivel global para contextualizar la producción lechera. Para 2015 se predijo una producción de leche a nivel mundial de 793,7 millones de toneladas. La Unión Europea lidera la producción de leche mundial con 165,9 millones de toneladas, por encima de India y EEUU, el cual supone un 21% de la producción mundial. Para la producción de esta leche la UE cuenta con un censo de 23,4 millones de vacas y EEUU con 9,4 millones. Por otro lado, en cuanto a rendimiento, la UE (7,11 ECM/vaca/año) (ECM son litros de leche corregida al 4% de grasa y 3,3% de proteína) se encuentra por debajo de países como EEUU (9,68 ECM/vaca/año) o Arabia Saudí (10,33 ECM/vaca/año), y es en este punto en el que la alimentación comienza a tener importancia, ya que es un factor clave de la productividad. Tras hacer un breve análisis de estos datos, se puede concluir que la eficiencia de producción de leche en la UE tiene margen de mejora, y parte de esa mejora estará basada en la alimentación (Informe nacional de vacuno de leche, 2016).

Dentro de la Europa de los 28, España se sitúa en 7º lugar con un 4% de la producción (El sector lácteo en España, 2015).

El sector vacuno de leche en España es el segundo más importante por detrás del sector porcino, y es aproximadamente el 17% de la producción final ganadera. La producción de leche en España en 2015 alcanzó los 6.793.284 de toneladas, de los cuales el 39% se concentró en Galicia, y por detrás le siguieron Castilla y León (12%) y Cataluña (10%). En la distribución por provincias, Navarra se situó en noveno lugar con una producción aproximada de 235 millones de litros que supone aproximadamente el 3,5% de la producción estatal. En enero de 2015 España contaba con un censo de 867.903 vacas, lo

que supuso un incremento sobre el año 2014 (1,5%). Este aumento ha continuado hasta la actualidad fomentado en parte por la desaparición de la cuota láctea (Informe nacional de vacuno de leche, 2016).

El sector lácteo en España se puede definir como estratégico, ya que tiene una gran relevancia económica dentro del sector agroalimentario y ayuda a fijar la población rural. Poniendo cifras a esta importancia, cabe destacar que toda la cadena de producción y transformación genera 13.000 millones de euros al año y emplea a 60.000 personas. Además, supone el 2% de la producción industrial del país. Todo esto supone que el sector lácteo en España suponga en 1,2% del PIB (González, 2016).

Para valorar la importancia de la alimentación en concreto, se han tomado únicamente datos de fabricación de piensos, dada la dificultad de obtención de datos de alimentación forrajera, ya que en la mayoría de las explotaciones la producción forrajera es propia y, por tanto, no existen datos de libre acceso. En cuanto a la fabricación de piensos, en España en 2016, se produjeron 34.029.299 Tm de piensos de los cuales el 8,8 % aproximadamente fueron destinados a alimentación de ganado bovino lechero (Datos de producción de piensos, 2016).

1.1.2 Importancia del sector lácteo a nivel local (Navarra)

Navarra cuenta con un censo de ganado bovino de aptitud lechera de 24.800 cabezas a 31 de diciembre de 2017, con las que se produjeron 247.000 Tm de leche. En cuanto a la distribución de las explotaciones, el 71% de ellas está situado en la comarca Nord-oriental seguido por el 9,7% que se sitúa en la Ribera Alta. Estos datos contrastan con la distribución de la cabaña ganadera, ya que, aunque la mayoría de las vacas se sitúan en la comarca Nord-oriental (49%), en la Ribera alta se encuentra el 26% de la cabaña. Esto hace ver que el tamaño de las explotaciones en la zona sur de Navarra es mayor, y esto se debe fundamentalmente al fácil acceso a forrajes de calidad y a la menor incidencia de limitaciones medioambientales.

En la última década el número de explotaciones en Navarra ha seguido una línea descendente (de 255 a 166) no así la cantidad de leche producida por explotación que ha aumentado (de 790 Tm a 1.412 Tm).

En cuanto al gasto en alimentación, teniendo en cuenta 51 explotaciones analizadas por INTIA S.A., el gasto en concentrado por animal es de 1.107,37 €/año. Por otro lado, el gasto de forraje es difícilmente cuantificable, ya que varios factores entran en juego, como ayudas PAC, posibilidad de abonar las parcelas con deyecciones de los animales o los alquileres de las parcelas.

Aun siendo difícil de cuantificar, se puede afirmar que la alimentación supone el mayor gasto de las explotaciones de Navarra, seguido por la mano de obra.

El factor más influyente en este sector es el precio de la leche que es el mayor condicionante de la producción lechera, ya que se encuentra en niveles del año 2000, mientras que las materias primas (pienso, combustibles, energía...) han sufrido un claro ascenso. Esta situación ha obligado a los ganaderos a ser más eficientes intentando producir más leche sin aumentar los gastos en la medida de lo posible. Es por ello que la alimentación cobra cada vez mayor importancia, debido a que es el gasto principal de las explotaciones (Mujika, 2017).

1.2 IMPORTANCIA DE LA ALIMENTACIÓN

Los nutrientes básicos requeridos por la dieta de las vacas lecheras son tres: energía, proteína y aminoácidos, y fibra. Por otro lado, están los minerales y las vitaminas. Históricamente estos últimos han tenido mayores dificultades de estimación y análisis, pero en las últimas actualizaciones de los sistemas de alimentación cada vez adquieren mayor peso, ya que los avances analíticos posibilitan su análisis y estimación. Además, los aminoácidos cada vez van cobrando mayor importancia y es que cada vez se afina más en su cálculo, es por esto que cada vez es más factible pasar de un modelo de alimentación basado en PB a uno basado en aportes de aminoácidos. Hasta el momento, se han comentado nutrientes ligados a la alimentación sólida, pero no se debe olvidar que las vacas lecheras tienen una alta demanda de agua de calidad a libre disposición y con garantías sanitarias.

A continuación, se analizan uno a uno los nutrientes y sus requerimientos.

1.2.1 Fibra

La prevención de la acidosis ruminal se basa en la utilización de una cantidad mínima de fibra en la ración.

La función de la fibra en el rumen es estimular su actividad y hacer rumiar a la vaca. La vaca con la rumia consigue que llegue saliva al rumen y así amortigüe el pH por la capacidad tampón del líquido salival. Para que el pH del rumen se sitúe por encima de 6,0 es necesario aportar un 25% de MS de la ración en forma de FND. La fibra en racionamiento se expresa como fibra neutro detergente (FND) que se asemeja al contenido en paredes celulares de un alimento fibroso.

Los sistemas de racionamiento han disminuido los aportes de fibra con el objetivo de maximizar los aportes energéticos (con concentrados de maíz, por ejemplo), pero se ha comprobado que es contraproducente, ya que provoca graves problemas de acidificación del rumen por falta de rumia. Es por ello que en la actualidad los sistemas de racionamiento incluyen recomendaciones de cantidad de fibra en la ración (Bach, 2016).

1.2.2 Energía

A continuación, en la ilustración 1 se presenta el balance energético simplificado:

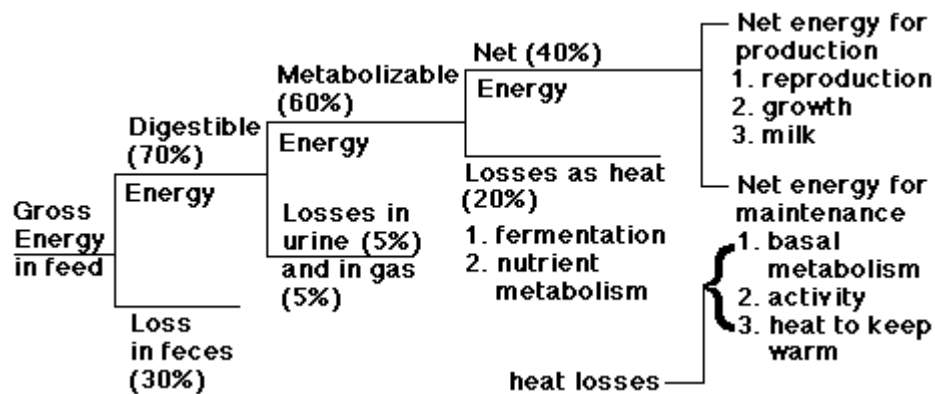


Ilustración 1: Cascada de energías (Fuente: Feed nutrients).

Como se puede observar en la ilustración 1, la energía ingerida por el animal se representa como energía bruta (100%). Tras eliminar las partes indigestibles de los alimentos por vía fecal, se obtiene la energía digestible, que representa la fracción de la energía degradable en el rumen. Si a esta energía se le resta la energía perdida en orina y metano, se obtiene la energía metabolizable (EM) por el animal. Y, por último, tras restar la energía perdida en calor, que en este tipo de animales es mucha, se obtiene la energía neta (EN) que supone un 40 % de la energía bruta. La EN es aquella energía que el animal utiliza para mantenerse y producir leche en este caso, por lo tanto, es la única energía de la que se puede obtener un beneficio económico. Es por todo esto que la mayoría de los sistemas de alimentación trabajan con este tipo de energía.

En nutrición animal la estimación de la energía disponible para el animal se basa en la segunda ley de la termodinámica, que dice que ningún cuerpo puede convertir en trabajo toda la energía que absorbe. Es muy complicado determinar el gasto calórico de cada proceso, por tanto, los nutrólogos han optado por que la energía agrupe los nutrientes que intervienen en el mantenimiento de las funciones metabólicas. Cada proceso metabólico tiene una eficiencia diferente, la suma de todas las eficiencias de los procesos metabólicos se conoce como incremento térmico. Este marca la diferencia entre EN y EM (Bach, 2002).

Todos los sistemas de alimentación cuentan con un sistema de valoración energética, así como con un componente de necesidades que deben usarse conjuntamente.

En los diferentes sistemas de alimentación, las necesidades están consideradas de forma aditiva de tal manera que las necesidades energéticas de las vacas lecheras se dividen en cuatro requerimientos diferentes: energía de mantenimiento, crecimiento, producción de leche y gestación.

1.2.3 Proteína

La proteína es un nutriente esencial en todas las especies animales. El aporte de proteína a los animales tiene dos objetivos: Satisfacer la demanda nitrogenada de los microorganismos ruminales y, por otro lado, aportar los aminoácidos esenciales. La demanda de los microorganismos se puede cubrir con fuentes nitrogenadas proteicas o no proteicas, no así la de aminoácidos, que solamente se puede cubrir con aportes de proteína (Bach, 2002).

De la misma manera que la energía, las necesidades de proteína se subdividen en varias subnecesidades, por un lado, las necesidades no productivas (mantenimiento) y, por otro lado, las necesidades de crecimiento, rendimiento lechero y gestación.

1.2.4 Minerales

Los minerales son esenciales en mantenimiento crecimiento y producción. Son importantes en estructuras de los huesos y tejidos (Bach, 2002).

Las necesidades de calcio y fósforo se expresan en cantidad de éstos absorbible que depende de la fuente de la que procede el mineral, y las necesidades de mantenimiento están determinadas por IMS (Ingestión de materia seca) y por el peso vivo PV (Peso vivo). Las asociadas a la producción de leche están directamente relacionadas con la exportación de Ca y P en leche. Los requerimientos asociados a la gestación, al igual que en el caso de la proteína y la energía, están relacionados con la semana de gestación y el peso esperado del ternero. Por último, las necesidades para crecimiento vienen determinadas por la edad (INRA, 2018).

1.2.5 Vitaminas

Las vitaminas son esenciales para el funcionamiento de los seres vivos. Las vitaminas no pueden sintetizarse en cantidades suficientes, por lo que deben aportarse en la ración. El desarrollo de recomendaciones ha estado limitado por la dificultad analítica. El aumento del

rendimiento productivo de los últimos años ha llevado a los nutrólogos a tener que redefinir las necesidades ya que, aun agotando sus reservas, las vacas no las cubren (Bach, 2002).

Existen 13 Vitaminas que se dividen en dos grupos dependiendo de su solubilidad: liposolubles (A, D, K y E) que son esenciales y es habitual su suplementación, e hidrosolubles (B y C). A continuación, en la tabla 1, se puede ver cuál es la función biológica de estas vitaminas y cuál es su procedencia:

Tabla 1: Vitaminas, función biológica y fuentes principales (Fuente: INRA, 2018).

Vitaminas	Nombre	Función Biológica	Principal fuente
A	Retinol	Visión, inmunidad, organogénesis y diferenciación de tejidos.	Síntesis de carotenos
A	Carotenos	Visión y reproducción.	Forrajes verdes
B1	Thiamina	Carbohidratos.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B2	Riboflavina	Carbohidratos, metabolismo de ácidos grasos y producción de energía.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B3	Niacina	Carbohidratos y metabolismo de ácidos grasos.	Alimentos, síntesis bacteriana del rumen y síntesis en hígado
B5	Ácido pantoténico	Ácidos grasos y metabolismo de la energía.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B6	Pyridoxal	Metabolismo de aminoácidos.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B8	Biotina	Portador de bicarbonato activo para la carboxilación del sustrato de grasa.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B9	Ácido fólico	Portados de unidades mono carbonatadas para ciclo de metilación.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen
B12	Cobalaminas	Activación de ácido fólico, oxidación de aminoácidos o propionato.	Síntesis bacteriana del rumen

C	Ácido ascórbico	Antioxidante, síntesis de norepinefrina y metabolismo de la tirosina.	Alimentos y síntesis en hígado
D2 D3	Ergocalciferol,	Homeostasis de calcio y fosforo y mineralización de huesos.	Heno
E	Tocoferoles	Proteger la membrana celular.	Alimentos: forrajes frescos y oleaginosas
K1 K2	Filoquinina	Coagulación sanguínea y regulación del ciclo celular.	Alimentos y síntesis bacteriana del rumen

1.2.6 Agua

Aunque quede fuera del alcance del proyecto y del racionamiento práctico, se cree relevante hacer un comentario acerca de las necesidades de agua, por la gran importancia que tiene, y porque es un aspecto a mejorar en muchas ganaderías.

El agua es necesaria en los animales, ya que supone alrededor del 60% de la composición corporal. Además, ayuda a regular la temperatura corporal y, es esencial porque es el principal componente de la leche. Las vacas en lactación acuden al abrevadero una media de 10 veces cada 24 horas, por lo que el acceso al agua tiene que ser libre y fácil. El consumo de agua de una vaca en lactación depende de la temperatura ambiental, como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2: Necesidades de agua en función de la temperatura ambiental (Fuente: El agua potable principal nutriente de las vacas, 2004).

Temperatura [°C]	Litros por kg MS [l]	Asumiendo IMS 25 kg [l/día]
De 0 a 15	3,4 a 3,8	De 85 a 95
De 15 a 21	3,8 a 4,4	De 95 a 110
De 21 a 27	4,4 a 5,2	De 110 a 130
>27	>5,2	>130

1.3 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

Históricamente la alimentación de la vaca de leche ha sido un tema muy estudiado por la relevancia que tiene en el sector y por el margen de mejora que existía. Es por ello que durante la historia han aparecido diferentes escuelas que han estudiado el sistema digestivo de los animales y han intentado predecir su funcionamiento. De la misma manera han intentado hacer unas recomendaciones de necesidades de mantenimiento y de producción, con la idea de planificar la alimentación con el objetivo de alcanzar el máximo beneficio. En definitiva, estos sistemas plantean lograr la producción deseada cubriendo las necesidades alimenticias a coste mínimo. Cada sistema de racionamiento establece unidades para medir las necesidades y los portes de los alimentos. Es importante que cuando se trabaje con un sistema de alimentación se utilicen las mismas unidades para necesidades y para aportes.

A continuación, se expone la evolución histórica de tres de los principales sistemas de alimentación, INRA, NRC y CNCPS (Cornell).

1.3.1 Sistema de alimentación INRA

En 1977 se publicó el primer libro de INRA, lo que supuso un giro radical que cambió la visión de la alimentación, ya que renovó el viejo sistema de energía en UF (unidades forrajeras) y mejoró el sistema de proteína digestible en el intestino (PDI). Además, esta renovación introdujo el cálculo de la ingestión mediante las unidades lastre (UL). Todas estas unidades siguen siendo vigentes, aunque han sufrido ligeras modificaciones. En los años siguientes, se hicieron varias actualizaciones con el objetivo de tener en cuenta el aumento del mérito genético de las vacas y la mejora de la calidad de los forrajes cultivados.

En 1988 el sistema de PDI y de UL fueron actualizados. En esta versión por primera vez el sistema INRA incorporó un software de tratamiento de datos para ordenadores, INRAtion. Mediante este programa se podían calcular raciones.

En 2007, por primera vez, fueron descritas las reacciones del animal al suministro de energía y proteína. Esto permitió ligar la alimentación a la gestión económica, ya que puede predecir el comportamiento del animal a diferentes proporciones de estos nutrientes y así poder valorar la rentabilidad. Por otro lado, se introdujo el concepto de ingestión en el pastoreo, aspecto que hasta el momento no se había tratado con profundidad.

En la actualidad, la alimentación está cambiando, porque no se busca una máxima producción, sino que se busca una gran eficiencia aun no expresando el máximo mérito genético. Cada vez adquiere mayor importancia la salud y longevidad de los animales, así

como los efectos en el medioambiente. Con el objetivo de abordar todos estos aspectos el sistema de alimentación de INRA ha evolucionado y se ha actualizado.

En esta revisión de 2007 la UF, PDI y UL se han mantenido, porque son unidades asentadas y porque se tiene un conocimiento amplio por años de experiencia. Esta versión se basa en el flujo de alimentos y la interacción entre alimentos, ya que se ha comprobado que el total de un nutriente en una ración no es la suma del contenido de nutrientes en cada alimento que la compone. Además, este sistema proporciona datos de emisión de metano, así como nitrógeno fecal y urinario. Por último, este sistema permite hacer una predicción de grasa y proteína en leche, y también de ácidos grasos presentes en leche. Esta nueva versión también viene acompañada por un nuevo INRAtion y un sistema de tratamiento de datos de forrajes y materias primas llamado PrevaAlim (INRA, 2018).

Dado que el sistema de unidades utilizado en este trabajo es el sistema INRA, a continuación, se describen las unidades que permiten cuantificar los nutrientes de los alimentos y permiten ajustar las raciones a las necesidades de los animales.

1.3.1.1 Energía

Como el resto de sistemas de alimentación, el de INRA se basa en energía neta (EN). Como unidades utiliza las unidades forrajeras (UF), bien de leche (UFL) o bien de carne (UFC), de forma que 1 UF equivale a la energía neta de síntesis de leche de un kg de cebada estándar (1730 kcal y 86%MS). Para el cálculo de la energía de un alimento, se compara con la cebada, de tal manera que la unidad forrajera es una unidad adimensional.

1.3.1.2 Proteína

Las unidades utilizadas por INRA se basan en la proteína metabolizable digestible en el intestino delgado. Más concretamente se utiliza proteína digestible en el intestino (PDI) para cuantificar la proteína, esta unidad se estableció en INRA en 1978. La proteína digestible en el intestino está compuesta por dos fracciones, la primera es la parte no degradable que pasa por el rumen sin ser degradada (PDIA) y que recibe el nombre de proteína de origen alimentario o proteína *by pass*. La otra fracción es la proteína de origen microbiano. Esta a su vez tiene dos valores asociados PDIN (proteína digestible en el intestino de origen microbiano cuando el nitrógeno es limitante) y PDIE (proteína digestible en el intestino de origen microbiano cuando la energía es limitante). Estos dos tienen en cuenta el aporte proteico para cubrir las necesidades del animal y el aporte nitrogenado para cubrir las necesidades de los microorganismos ruminales, y la proteína de origen microbiano, será proporcional al aporte más limitante entre nitrógeno y energía.

1.3.1.3 Fibra

Para cuantificar la fibra, aunque existen otros parámetros medibles como FAD (Fibra ácido detergente) o LAD (lignina ácido detergente), se utiliza FND (Fibra neutro detergente). De los tres es el parámetro más usado, ya que engloba la hemicelulosa, la lignina y la celulosa. La FND es el factor limitante de la ingestión (IMS), ya que siendo prácticamente constante el volumen del rumen, éste se llenará antes con un forraje con alto valor fibroso. Es por ello que no es conveniente racionar con altos valores de FND, el cual podría conllevar que, aunque el animal llene el rumen, no cubra sus necesidades y tenga un déficit. Es importante saber que no siempre es fácil racionar con bajos contenidos de FND, debido a que los forrajes de la cornisa cantábrica se caracterizan por valores medio-altos. Por otro lado, racionar con bajos contenidos de FND puede acarrear problemas digestivos tales como acidosis, por falta de rumia.

Para medir la capacidad de llenado de un alimento (directamente relacionado con la FND), en este sistema se utiliza la UL (unidad lastre). El VL (valor lastre) condiciona el nivel de ingestión y es fijo para un alimento, pero varía en función del tipo de animal. Es por esto que se establecen tres valores lastre diferentes: ULO (unidad lastre ovina), ULL (para cabras y vacas lecheras) y ULB (para el resto de bovinos).

1.3.2 Sistema NRC

En este mismo contexto, de valorar la nutrición como factor clave en la producción de leche, en 1997 se crea una nueva edición de Animal Nutrition in National Research Council's Board on Agriculture and Natural Resources. Existían varias publicaciones anteriores a esta, pero todas eran de menor importancia. Este es el conocido como sistema NRC. Se creó en Estados Unidos con el objetivo de transmitir todo el conocimiento y estudios realizados con vacas de leche en la anterior década. Con dicha información se editó una versión escrita sobre necesidades de las vacas que se acompañó de un software para así poder predecir necesidades.

Tras esa publicación se descubrió que las enfermedades comunes afectaban a las necesidades en nutrientes, y también los aspectos medioambientales comenzaron a adquirir importancia. Es por esto que se creó una nueva actualización que se centró en el ajuste de las necesidades. Así pues, tras tres años de trabajo, en 2001 se publicó la nueva versión del NRC que aún sigue vigente (Nutrient requirements of dairy cattle, 2001).

El NRC trabaja en energía neta en kcal y en cuanto a la proteína, utiliza un tipo de unidad similar a la PDI del INRA que es la proteína metabolizable (PM).

1.3.3 Sistema CNCPS (Cornell)

EL sistema CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) apareció por primera vez en los años 80 como un modelo de alimentación de vacas en el que se proponían tablas de requerimientos de proteína. Diez años después una serie de artículos fueron publicados haciendo más hincapié en la digestión de la proteína y añadiendo conceptos sobre la digestión de carbohidratos. Así mismo, incluía conceptos sobre crecimiento microbiano, aporte de aminoácidos y necesidades de los animales. Estos últimos pasos fueron la base de todas las siguientes revisiones y actualizaciones que se llevaron a cabo en los siguientes 30 años. Actualmente, este sistema sigue actualizándose con nuevas versiones. Algo que distingue a este sistema de los demás es que este sistema está globalmente extendido para su uso comercial. Por lo tanto, este se utiliza para calcular raciones para millones de animales en todo el mundo cada día.

Actualmente está vigente la versión 7 que nació con la idea de mejorar la predicción de los aportes de aminoácidos, basándose en las recomendaciones de la versión 6.5. Un gran cambio en este nuevo modelo es que es dinámico (Systali dinámico) y no estático como habían sido los anteriores, lo que permite realizar cálculos a lo largo del tiempo. Esta nueva versión ha sido desarrollada para poder ser aplicada en campo, para una vaca media de cada lote. Incluye como novedad la estimación de los aportes de proteína basándose en el nitrógeno. Esto facilita conocer la recirculación de urea de una manera más sencilla y simplifica la estimación de las necesidades en aminoácidos. Este sistema, al igual que la última revisión de INRA, incluye tasas de paso de alimentos y el tiempo que transcurren en el rumen para calcular la ingestión. También distingue entre la digestión en el intestino delgado y en el intestino grueso, ya que no se dan de la misma manera. En el intestino grueso la digestión es más mecánica que en el delgado, en definitiva, es más parecida a la que se da en el rumen. Por otro lado, incluye una modelización de la recirculación de urea en el sistema gastro-intestinal al igual que una detallada explicación del flujo de urea.

Un aspecto muy importante que trata el sistema CNCPS y en el que se ha basado parte de la revisión de INRA es el nitrógeno de origen endógeno. Ha sido este un tema tratado desde hace muchos años, pero no se había incluido en el modelo por falta de bibliografía y experimentación al respecto (Higgs and Van Amburgh, 2015).

El sistema CNPPS utiliza las mismas unidades que el sistema NRC, es decir, trabaja en energía neta en kcal, y en cuanto a la proteína, utiliza un tipo de unidad similar a la PDI del INRA que es la Proteína Metabolizable (PM).

1.3.4 Otros sistemas de alimentación

Existen otros sistemas de alimentación en Europa, aunque en su mayoría son derivados del sistema INRA. Así, por ejemplo, existe el sistema AFRC que es originario de Reino Unido que utiliza los sistemas de Energía Metabolizable (EM) y Proteína Metabolizable (PM) como base para los cálculos de aporte energético y proteico. En Holanda se ha desarrollado otro sistema similar llamado DVE/OEB.

A nivel Nacional no existe ningún tipo de sistema de racionamiento para rumiantes, aun así, sí que existe el FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) que es una empresa sin ánimo de lucro y dedicada a la divulgación de avances en nutrición animal, así como al desarrollo de la nutrición animal en España.

1.4 RENOVACIÓN DE UNIDADES DE ALIMENTACIÓN INRA: SYSTALI

1.4.1 Por qué aparece el sistema Systali

Como se ha comentado anteriormente, el sistema de unidades del sistema INRA ha existido desde hace décadas. La construcción de este sistema de unidades se basó en el conocimiento de la digestión. Además, este fue un sistema que se pudo aplicar tanto a necesidades como a aportes de alimentos. Esto resulta muy útil a la hora de racionar, porque permite trabajar sin cambios de unidades y de una manera sencilla. Algunas de estas unidades se han extendido a lo largo de Europa y Estados Unidos y se han actualizado, y esta es la clave del avance en la alimentación animal.

Durante muchos años, el progreso del sistema de unidades se basó en la precisión de la predicción de las necesidades y valores de los alimentos. Sin embargo, en las últimas décadas han aparecido nuevos factores que afectan a los sistemas de alimentación. Se requiere una mayor eficiencia de utilización de alimentos, reducción de pérdidas que podrían afectar al medioambiente como el N o el P, mayor control de la composición de productos finales, mejorar la salud y aumentar el bienestar animal. Se vio que estos parámetros deberían ser recogidos en un nuevo sistema y que se debía evolucionar hacia la predicción de la respuesta de los animales a cambios en la dieta, porque de esta manera se podrá entender la digestión y los procesos metabólicos de los nutrientes clave.

Para conseguir esto, es importante entender primero qué parte de la digestión incluye tradicionalmente el sistema INRA. Actualmente, solo integra interacciones proteína-energía e interacciones digestivas. Consecuentemente, el sistema antiguo no es útil para dietas extremas pobres en nitrógeno o con altos contenidos de fibra. El objetivo de esta nueva revisión es recalcular los valores de proteína y energía teniendo más en cuenta los procesos

digestivos, indagar en los procesos digestivos (interacciones digestivas, tasas de paso, síntesis microbiana e interacciones proteína-energía) y, por último, mejorar la predicción de nutrientes absorbidos (Sauvant y Noizière, 2015).

A continuación, se dan a conocer las novedades que incorpora el sistema de alimentación de INRA en su última actualización (Sauvant y Noizière, 2015).

1.4.2 Tasas de paso en el rumen

La tasa de paso en el rumen determina la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos del rumen. Varios estudios han determinado que las tasas de paso son diferentes para forrajes y concentrados, así como para líquidos (Owens and Goetsch, 1986). En la versión anterior a Systali la tasa de paso para partículas potencialmente degradables se había fijado en 6%/h, y no se consideraba tasa de paso para la fracción soluble. En el sistema de racionamiento holandés las tasas son fijas para forraje (4,5%/h) y para concentrado (6%/h). El NRC propuso fórmulas basadas en la IMS, proporción de forraje y FND de la ración.

Utilizando la base de datos BoviDig (pilar del cálculo de la mayor parte de las fórmulas propuestas), el nivel de ingestión (FL) (de 1 a 4,5 g MS/100 g PV) y la proporción de concentrado ($0 < \text{PCO} < 1$), se han propuesto varias ecuaciones para estimar las tasas de paso de las distintas fracciones.

$$\mathbf{kft = 2,02 + 0,88 FL - 3,13PCO^2} \quad \mathbf{Ecuación 1}$$

Donde kft es la tasa de paso de las partículas de forraje, FL es el nivel de ingestión, y PCO la proporción de concentrado en la ración.

$$\mathbf{kct = 2,53 + 1,22 FL - 2,61 PCO^2} \quad \mathbf{Ecuación 2}$$

Donde kct es la tasa de paso de partículas de concentrado.

$$\mathbf{klt = 5,35 + 2,18 FL - 3,71 PCO^2} \quad \mathbf{Ecuación 3}$$

Donde klt equivale a la tasa de paso de la fracción líquida.

La tasa de paso de una ración completa se puede calcular con la siguiente ecuación que engloba las tasas de paso de forraje y concentrado.

$$\mathbf{kpt = kft (1 - PCO) + kct PCO} \quad \mathbf{Ecuación 4}$$

La tasa de paso de forraje es menor que la de concentrado, ya que el forraje requiere masticación. Además, la movilidad del rumen disminuye cuando aumenta la proporción de

concentrado. Las ecuaciones anteriormente expuestas muestran que la tasa de paso fijada en 6%/h no es alcanzada por las partículas de forraje (Sauvant y Noizière, 2015). Todo esto supone que el tiempo de residencia de las partículas en el rumen sea mayor de lo que se creía en un principio.

1.4.3 Digestión de proteína y almidón en el rumen

La predicción de la digestión de proteína y almidón se ha basado normalmente en experimentos realizados *in vivo*.

La degradabilidad efectiva de proteína y almidón se calcula de la siguiente manera:

$$ED = a [100 / (100 + klt)] + b [kd / (kd + kpt)] \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde a es la fracción rápidamente degradable que se asume que se degrada a 100%/h, b es la fracción potencialmente degradable cuya tasa de degradabilidad es kd (estimada *in vivo*).

1.4.4 Balance proteico del rumen (BPR)

El balance proteico del rumen representa la diferencia entre proteína bruta y la proteína bruta no amoniacal.

$$BPR = CP - (PIR + MicCP + EndoCP) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde BPR es el balance proteico del rumen, CP es la proteína bruta, PIR, es la proteína no degradable, MicCP es la proteína de origen microbiano y EndoCP es la proteína de origen endógeno.

La anterior fórmula se puede simplificar en:

$$BPR = PIR - MicCP - EndoCP \quad \text{Ecuación 7}$$

Ya que CP-PIR equivale a la proteína degradable en el rumen.

Este nuevo concepto es interesante, ya que permite evaluar el equilibrio que existe entre el nitrógeno degradable y la energía disponible en el rumen. Además, posibilita integrar las interacciones proteína-energía y la digestión de materia orgánica. Por último, también permite hacer una estimación del nitrógeno urinario excretado.

$$UN = 7,72 + 0,62 BPR_N \quad \text{Ecuación 8}$$

Este nuevo parámetro es similar al Rmic que se ha utilizado en los últimos años. Este daba una idea del balance ruminal calculado mediante la división de la energía en UF entre

la diferencia entre PDIE, PDIN. Pero este antiguo parámetro obviaba la proteína de origen endógeno y no tenía en cuenta la degradabilidad de la proteína. Además, el índice Rmic solo se puede calcular en raciones y no en alimentos. Por otra parte, Rmic no es aditivo y BPR sí. Por otro lado, el índice Rmic no incluía las interacciones digestivas (Sauvant y Noizière, 2015).

La interpretación de este parámetro todavía no está muy clara, ya que en el libro publicado por INRA (2018) no aparecen unas recomendaciones muy claras. Aun así, se puede dilucidar que un valor BPR adecuado es aquel que más se acerca a 0. Si se observan las tablas de composición de los alimentos de INRA se puede ver que aquellos alimentos que tienen un mayor valor protéico, tiene un BPR mayor que aquellos que tienen un contenido proteico menor (por ejemplo, la harina de soja frente la harina de maíz, 224 frente a -53, respectivamente). Por tanto, de estos datos se puede concluir que una ración equilibrada será aquella que convine alimentos con diferentes contenidos proteicos con el objetivo de que el BPR de la ración sea 0. Igualmente, se interpreta que con dietas con un BPR alto, se está suministrando proteína en exceso y que, por tanto, el animal no es capaz de utilizar toda esa proteína y la expulsa en orina.

1.4.5 Interacciones digestivas

Es conocido que en el rumen se da una serie de interacciones entre alimento que hace que los nutrientes de la ración no resulten de la suma de los nutrientes contenidos en los alimentos que la componen. Las interacciones digestivas se incorporan de la siguiente manera en el sistema:

$$FV_r = \sum i (FV_i \cdot P_i) \pm DI \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde FV_r es la influencia de la interacción digestiva en la DMO de ese alimento, FV_i valor de cada alimento individual, P_i la proporción de cada alimento en la ración y DI las interacciones digestivas que se producen que pueden ser negativas o positivas. El principal problema que muestran las interacciones es poder identificar cuáles son los problemas que afectan y cuál es su grado de afección.

En el sistema Systali las interacciones digestivas se calculan de la siguiente manera:

$$\Delta OMd = (\sum i(OMdi \cdot POMi)) - OMdm \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde ΔOMd son las interacciones digestivas, $OMdi$ es la digestibilidad de cada alimento según tablas, $POMi$ es la proporción de alimento en la ración sobre MO y $OMdm$ es la MO de la ración.

Aunque este concepto de las interacciones digestivas ya estuviera presente en modelos anteriores del sistema INRA, esta última versión incorpora el concepto de digestibilidad de materia orgánica (DMO). De la DMO depende la energía neta (EN), y como consecuencia la proteína microbiana, ya que la energía es el factor más limitante a la hora de generarla.

Las interacciones digestivas se dan en el rumen, y Sauvart y Noizière (2015) concluyeron que éstas son las que más afectan a la (DMO):

- Un aumento de la tasa de paso hace que se reduzca la oferta de sustrato para los microorganismos ruminales, debido al tiempo de exposición es menor. Esto se dará cuando aumente la IMS, ya que para un animal dado un aumento de la IMS supone un aceleramiento del tránsito.
- Una bajada de pH inhibe los microorganismos degradadores de celulosa, ya que el rango de pH en el que actúan estos microorganismos es muy pequeño. Esto sucede cuando aumenta la PCO, ya que a mayores aportes de concentrado la rumia disminuye y, por tanto, la cantidad de saliva que llega al rumen también.
- Un cambio en los microorganismos ruminales se puede dar con cambios drásticos de dieta que hagan que el acceso a nitrógeno por parte de los microorganismos cambie de forma repentina.

Se ha estudiado la importancia del nivel de ingestión (FL) en la interacción y se ha concluido que cuanto mayor es el FL menor es la DMO, porque el tránsito es más rápido.

La influencia se modeliza de la siguiente manera:

$$\Delta\text{OMd}_{\text{FL}} = 2,74 (\text{FL} - \text{FLref}) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde FL es el nivel de ingestión de alimento y el FLref es el nivel de ingestión de referencia medido en carneros castrados con un forraje de referencia.

En cuanto a la influencia de la proporción de concentrado, si se asume que los contenidos de MO de los alimentos son aditivos, se sobreestima el contenido de MO de la ración si la PCO de ésta es elevada.

La influencia de la PCO se modeliza de la siguiente manera:

$$\Delta\text{OMd}_{\text{PCO}} = 6,5 / (1 + (0,35/\text{PCO})^3) \quad \text{Ecuación 12}$$

Por otro lado, en el cálculo de la digestibilidad también influye el balance proteico del rumen (BPR). Se pueden dar dos casuísticas diferentes: BPR<0 o BPR>0. En la primera de ellas el cálculo de la digestibilidad mediante la suma de las digestibilidades de las tablas es

un cálculo sobreestimado. En la segunda situación posible, la digestibilidad se subestima. Esto no se cumplirá si la ración está suplementada con urea ya que, en ese caso, el límite es $BPR < 20$ (Sauvant y Noizière, 2015).

La relación entre BPR y ΔOMD es la siguiente:

$$\Delta OMD_{BPR} = -0,26 - 0,06 BPR \quad \text{Ecuación 13}$$

1.4.6 Materia orgánica fermentada en el rumen (MOF)

Cada vez cobra mayor importancia la predicción de la (MOF) en el sistema de unidades del INRA, debido a la relación con la producción de proteína microbiana. Asimismo, condiciona la pérdida de energía en forma de CH_4 y el aporte de ácidos grasos al animal.

En la primera versión de PDI, se calculaba la MOF como la resta entre MOD y la fracción de MOD que no se fermenta en el rumen, que son los productos de fermentación (PF) de los ensilados, la grasa bruta y la fracción no degradable de la proteína bruta (PB). Este procedimiento fue usado también por el sistema NRC (2001).

En versiones posteriores, se incluyó en el cálculo la fracción de almidón no degradable. A pesar de estas actualizaciones, la MOF siguió siendo inexacta, ya que se tomaban varias simplificaciones e hipótesis:

- La tasa de paso de PB y de almidón se tomaban como constantes, y la proteína no degradable en el rumen, se tomaba como totalmente digestible en el rumen.
- La fibra Bruta (FB) se asumía como totalmente indigestible en el rumen y totalmente digestible en el intestino.
- Se asumía que la FND digestible se digería totalmente en el rumen.
- La materia orgánica que no es PB, almidón, FND, FB o PF, se asumía como 100% degradable en el rumen.
- No se incluían interacciones digestivas.

En la última actualización del sistema INRA (Systali) se ha propuesto la siguiente ecuación para estimar la MOF:

$$MOF = MOD - MOD_{int} - PF \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde MOF es la materia orgánica fermentable, MOD es la materia orgánica digestible, MOD_{int} la materia orgánica digerida en el intestino y PF los productos de fermentación (Sauvant y Noizière, 2015).

1.4.7 Producción de ácidos grasos volátiles

A partir de la estimación de MOF, es posible calcular la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) que son la principal fuente de energía para los microorganismos del rumen y para el animal. Por tanto, se propone la siguiente ecuación para la estimación de la producción de AGV:

$$\text{AGVTProd} = 8,35 - 1,1 (\text{PCO} - 0,43) \cdot 0,001 \text{ MOF} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde AGVTProd son los ácidos grasos volátiles totales producidos, PCO es la proporción de concentrado, y MOF la materia orgánica fermentable (Sauvant y Noizière, 2015).

1.4.8 Producción de proteína microbiana (PDM)

La estimación de producción de proteína microbiana es uno de los puntos clave de todos los sistemas de alimentación. Su dificultad radica en que el número de experimentos al respecto es limitado y en que existen diversas fuentes de variación que afectan a la producción de proteína microbiana. En el primer modelo de INRA en 1978, se estimó que la PBMic era 120 g/kg de MOD, de la misma manera en el modelo de DVE/OEB (sistema holandés) se propuso que eran 150 g/kg de MOF. Estas estimaciones representan una media e ignoran algunos factores que afectan a la producción microbiana.

En el proyecto Systali se asume que la materia orgánica total degradable en el rumen (MOtDR) que representa la energía disponible para los microorganismos es el factor limitante para el crecimiento microbiano. En el sistema anterior se estimaba una producción constante de PBMic por cada unidad de MOF. En el nuevo sistema se modeliza de la siguiente manera:

$$\text{PBMic} = 45,2 + 73,31 \cdot 10^{-3} \text{ MOtDR} \quad \text{Ecuación 16}$$

Esto muestra que a mayor cantidad de MOF mayor es la cantidad de PBMic producida en el rumen. Además, esto muestra que la hipótesis de una eficiencia constante de transformación conduce a subestimaciones de producción de PBMic cuando la MOF es baja y lo contrario cuando es alta.

Aunque el mayor factor de generación de PBMic es la MOtDR, se ha comprobado que existen otros factores que influyen. Por tanto, en la nueva versión del sistema INRA se propone la siguiente ecuación para estimar la generación de PBMic:

$$\text{PBMic} = 40,7 - 0,114 \text{ BPR} + 75,6 \cdot 10^{-3} \text{ MOF} + 8,07 \text{ PCO} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde BPR es el balance proteico del rumen, MOF representa la materia orgánica fermentable en el rumen y PCO es la proporción de concentrado de la ración. Por tanto, se puede ver que la relación entre PBMic y BPR es negativa, y se debe a que cuanto mayor es el BPR, mayor es el aporte de proteína en comparación con el aporte energético, con lo cual existe una descompensación en el rumen que hace que los microorganismos no puedan sintetizar proteína de manera adecuada. Por otro lado, la relación con la MOF es positiva, de forma que cuanto más materia fermentable hay disponible, mayor será la actividad de los microorganismos. Por último, la relación con la proporción de concentrado es positiva, ya que los concentrados son normalmente alimentos equilibrados en energía y proteína y además con grandes contenidos de éstos, lo que hace que, a mayor proporción de concentrado en una ración, la actividad de los microorganismos ruminales se mayor (Sauvant y Noizière, 2015).

1.4.9 Digestión en el intestino

El principio del cálculo de la digestibilidad real (dr) se ha mantenido para la proteína digestible en el intestino de origen microbiano, no así para la proteína by-pass (PIR), ya que ésta cambia con cada alimento. Tras realizar estudios con más de 1000 raciones diferentes, se ha propuesto la siguiente ecuación para la estimación de la dr de la proteína by-pass cuando no existen datos de experimentos *in situ*.

$$\text{dr} = (\text{PIR} - \text{PBNDI}) / \text{PIR} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde dr es la digestibilidad de la proteína by-pass, PIR es la proteína no degradable en el rumen y PBNDI es la proteína bruta no digestible presente en el intestino. Para estimar la PBNDI se propone la siguiente ecuación:

$$\text{PBNDI} = \text{PBND} - 2,69 - 0,106 \text{ PBMic} - 0,022 \text{ FNDND} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde PBNDI es la proteína bruta no degradable presente en el intestino, PBND es la proteína bruta no degradable, PBMic es la proteína de origen microbiano y FNDND es la fibra neutro detergente no degradable (Sauvant y Noizière, 2015).

1.4.10 Pérdidas de energía en forma de orina y metano

En la nueva versión del sistema INRA (Systali), se ha incluido una actualización del cálculo de pérdidas en forma de metano y orina.

Las pérdidas en forma de metano, se ven afectadas por la DMO, aunque también se verán afectadas por otros factores como las interacciones digestivas que dependen de la proporción de forraje y de la proporción de concentrado en la ración.

Gracias a nuevas técnicas de estimación de producción de metano, se ha podido modelizar la pérdida de la siguiente manera:

$$\text{CH}_4/\text{MOD} = 45,42 - 6,66\text{FL} + 0,75 \text{FL}^2 + 19,65 \text{PCO} - 35 \text{PCO}^2 - 2,69 \text{FL} \cdot \text{PCO} \quad \text{Ecuación 20}$$

En dietas con alta IMS y una PCO (proporción de concentrado) alta, las pérdidas en forma de metano son menores debido a que se producen interacciones digestivas a nivel de MO. Esto será interesante siempre que no se ponga en peligro la salud del animal, ya que, como se ha explicado anteriormente, altas PCO afectan al buen funcionamiento del rumen (Sauvant y Noizière, 2015). Llegados a este punto, es interesante realizar una pequeña reflexión. En el sector lácteo actualmente existen tendencias que abogan por alimentar a las vacas con forrajes en vez de con concentrados. De esta manera, la producción total (l de leche/vaca) es menor. Por tanto, estamos ante un dilema, ya que la producción de metano por litro de leche es menor en los animales alimentados con dosis de concentrado mayores.

Las pérdidas en forma de orina, además de depender de los parámetros anteriores, también dependen de la PB de la ración y se modeliza de la siguiente manera:

$$\text{UE} = 2,9 + 0,017 \text{PB} - 0,47 \text{FL} - 1,64 \text{PCO} \quad \text{Ecuación 21}$$

Al igual que en las pérdidas en forma de metano, las pérdidas energéticas en forma de orina disminuyen con altos aportes de concentrado y con altas IMS.

1.4.11 Índice de Riesgo de Acidosis (IRA)

Este nuevo índice permite estimar el riesgo de acidosis de una ración a partir de una serie de parámetros de la ración conocidos.

El IRA tiene unos valores entre 0 y 2, siendo 0 riesgo nulo, 1 bajo riesgo y 2 alto riesgo. Este parámetro es multifactorial e INRA propone los siguientes parámetros a tener en cuenta para su cálculo: balance electrolítico, materia orgánica degradable del concentrado, almidón digestible en el rumen, proporción de concentrado, tamaño de partículas, FND del forraje, FND de la ración e índice de masticación. Cada uno de estos se valora de 0 a 2 en función de los límites que se establecen en el libro INRA (2018).

Para estimar el valor de este parámetro se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$IRA = \sum_i IRA_i / n$$

Ecuación 22

Donde IRA es el índice de riesgo de acidosis medio, IRA_i es el riesgo de acidosis de cada parámetro (valorado de 0 a 2) y n es el número de parámetros utilizados para la estimación.

2 OBJETIVOS

Con el objetivo de mejorar y hacer más eficiente el racionamiento de vacas de leche realizado por INTIA SA, este proyecto persigue los siguientes objetivos:

1. Elaborar un protocolo de tratamiento de valores/aportes de materias primas para raciones utilizadas en alimentación de vacuno de leche mediante la utilización de la herramienta Systool web de INRA.
2. Aplicar la herramienta Systool web a las raciones utilizadas hasta el momento por INTIA S.A. para analizar las novedades del sistema Systali.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Systali y Systool web

Para poder realizar un acercamiento práctico al nuevo sistema Systali, INRA ha habilitado una herramienta vía web (Systool web), mediante la cual se pueden valorar los aportes nutritivos que aportan las raciones aplicando las unidades Systali. Para ello utiliza dos submodelos:

- Valores de los alimentos: refleja en tablas los valores nutritivos de los alimentos individualmente.
- Valores de la ración: Permite el cálculo del aporte nutricional de una ración sumando los aportes de los alimentos incluidos en ella.

Es importante destacar que esta nueva herramienta, no permite realizar un racionamiento práctico como lo hacía la herramienta informática INRAtion 4.0, sino que solo permite valorar raciones previamente elaboradas.

3.1.2 Raciones INTIA S.A.

De las 94 explotaciones de las que se podrían haber tomado raciones para llevar a cabo este proyecto, se han utilizado raciones de nueve explotaciones. En algunas de estas explotaciones se ha seleccionado más de una ración para analizar. Las variaciones se basan en diferencias de composición de la ración, siendo los factores variables, las cantidades de diferentes forrajes y la composición del concentrado. Se han utilizado 16 raciones diferentes elegidas por técnicos de vacuno de leche de INTIA S.A. valorando los parámetros que ellos han estimado convenientes. Estas 16 raciones no representan el abanico de raciones posibles que se dan en Navarra, por tanto, los resultados obtenidos no serán extrapolables al resto de raciones.

En la tabla 3 se muestra un resumen de las raciones analizadas.

Tabla 3: Raciones analizadas (Fuente: propia).

Raciones	Composición de la ración en MF (Materia Fresca) [kg/vaca/día]
Z1	20 kg de ensilado de maíz, 14 kg de ensilado de raigrás, 8 kg de ensilado de maíz dulce y 11 kg pienso complementario.
Z2	32 kg de ensilado de maíz, 10 kg de ensilado de raigrás y 11 kg de pienso complementario pienso.
Z3	24 kg de ensilado de maíz, 15 kg de ensilado de raigrás y 11 kg de pienso complementario
B1	15,98 kg de ensilado de maíz, 15,53 kg de ensilado de raigrás, 8 kg de pulpa de remolacha y 12 kg de pienso complementario
B2	14,28 kg de ensilado de maíz, 14,28 kg de ensilado de raigrás, 10 kg pulpa de remolacha y, 0,71 kg de paja de cereal y 12 kg de pienso complementario
I1	15 kg de ensilado de maíz, 14 kg de ensilado de raigrás, 9 kg de ensilado de maíz dulce y 11 kg de pienso complementario.
I2	16 kg de ensilado de maíz, 14 kg de ensilado de raigrás 3 kg de alfalfa en rama, 1 kg de paja de cereal y 11 kg de pienso complementario.
I3	26 kg de ensilado de maíz, 3 kg de alfalfa en rama, 1 kg de paja de cereal y 11 kg de pienso complementario
M1	17 kg de ensilado de maíz, 12 kg de ensilado de raigrás y 10 kg de pienso complementario.
M2	17 kg de ensilado de maíz, 12 kg de ensilado de raigrás y 10 kg de pienso complementario (pienso diferente al anterior)
ET1	25,1 kg de ensilado de maíz, 13,43 kg de ensilado de raigrás, 6,1 kg de cebadilla, 0,8 kg de paja de cereal y 11,6 kg de pienso complementario.
ET2	25,65 kg de ensilado de maíz, 16,88 kg de ensilado de raigrás, 6,4 kg de cebadilla, 1,1 kg de paja de cereal y 11,4 kg de pienso complementario.
EG	31,67 kg de ensilado de maíz, 15,84 kg de ensilado de raigrás 1,19 kg de paja de cereal y 12 kg de pienso complementario.

LZ	19 kg de ensilado de maíz, 16 kg de ensilado de raigrás, 0,59 kg heno pradera y 11 kg de pienso complementario.
LN	32,42 kg de ensilado de maíz, 31,99 kg de ensilado de raigrás, 1.5 kg de heno de pradera, 6,75 kg+6,15 kg de pienso complementario.
EL	14 kg de ensilado de maíz, 16 kg de ensilado de raigrás, 7 kg de pulpa de cítricos, 0,5 kg de paja de cereal y 11 kg de pienso complementario.

3.1.3 Aplicaciones de tratamiento de datos

Para facilitar el tratamiento de los datos se ha creado una serie de documentos de tratamiento de datos (Excel) con los que trabajar la subida y descarga de los mismos. Se han creado dos archivos, el primero permite introducir una ración en materia fresca y las características de los forrajes y de forma automática genera los documentos de subida de datos. El segundo permite descargar los archivos generados en la web y gestionar toda la información que contienen con el objetivo de que solo se muestren los datos que se consideran más relevantes.

3.2 MÉTODO

La herramienta Systool web requiere una serie de archivos, en los que se describe el tipo de animal, la composición de la ración y las características de los alimentos para realizar la valoración de la ración.

Una vez realizados todos los cálculos de estimación, la web devuelve una serie de archivos en los que aparecen parámetros de los alimentos individualmente y parámetros de la ración en su conjunto. Systool web realiza tres cálculos. El primero es el cálculo de forma aditiva con los valores de las tablas 2007, el segundo es aditivo también, pero con los valores de las tablas Systali y, por último, realiza el cálculo de los diferentes valores de las materias primas tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas.

Este procedimiento se ha repetido con todas las raciones, de tal manera que al final del proceso se ha obtenido un archivo con información sobre la ración y otro con información sobre los alimentos que la componen.

3.3 ESTADÍSTICA

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el programa informático IBM SPSS Statistics 24.

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) usando el Modelo Anova de un factor para las variables "energía, degradabilidad del nitrógeno y pérdida de energía en forma de metano" siguiendo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + L_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} : valores de las variables estudiadas

μ : media de la población considerada

L_i : efecto del sistema de alimentación

ε_{ij} : error residual aleatorio

Se completó el estudio mediante comparaciones múltiples post – hoc, con el procedimiento HSD de Tukey. El nivel de significación referencia es del 5% ($P < 0,05$).

Para el análisis de correlaciones de las variables en estudio se aplicó el coeficiente de Pearson:

- No significativo en caso de: $P > 0,05$
- Significativo en caso de: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Además, se han realizado regresiones lineales y polinómicas para estudiar la relación existente entre algunas de las variables.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se dividen en dos grandes bloques. El primer bloque describe el protocolo de tratamiento de datos que se ha creado y en el segundo se analizan los datos que se han obtenido a partir de 16 raciones una vez aplicado el protocolo anterior. Para ello, por un lado, se analizan los resultados obtenidos de los alimentos y por otro lado se analizan los parámetros de la ración.

4.1 PROTOCOLO DE TRATAMIENTO DE DATOS

4.1.1 Subida de datos

Systool web requiere que se suban a la plataforma 3 archivos diferentes cumplimentados de forma independiente y precisa. Los archivos se adjuntan en Systool web como se puede ver en el anexo A.

Para generar estos tres archivos se ha creado un archivo Excel de tratamiento de datos, en el que se requiere cumplimentar las cantidades de forraje de la ración en materia fresca y los contenidos de materia seca de cada forraje (Tabla 4).

Tabla 4: Ejemplo de entrada de datos de forrajes (Fuente: Propia).

Alimento	CODALI	kg mf/vaca/día	% ms alimento
ensilado maíz	UMF0001	20	28
ensilado raigrás	UFRG001	14	40
ensilado maíz dulce	UFMD001	11	20

Por otro lado, se debe cumplimentar la cantidad de concentrado suministrada en materia fresca y la composición del pienso en porcentaje de materia fresca (Tabla 5). A partir de estos datos el sistema genera automáticamente los 3 archivos de subida (ration, aliment y user).

Tabla 5: Ejemplo de entrada de datos de concentrado (Fuente: Propia).

pienso nº 1	% mf
harina maíz	38,21
harina guisantes	2,23
ddgs maíz	15
ddgs trigo/maíz (70/30)	15
gluten feed maíz	2,75
harina colza	20
melaza remolacha	2
jabón cálcico	1,01
Urea	0,5
carbonato cálcico	1,1
Sal	1,1
acibuf10	0,9
núcleo vit/miner.	0,2

A continuación, se muestra un ejemplo de cada uno de los archivos que se generan de forma automática. La tabla 6 muestra los datos que se incluyen en el “archivo ration”.

Tabla 6: Ejemplo de archivo de una ración (Fuente: Propia)

RATION	TYPEANI	PVIF	MSI	UREE
1	VL	675.0	23.19	1

En este archivo (Tabla 6) deben aparecer los siguientes datos:

- Ration: este campo se debe rellenar con un número, es irrelevante para los cálculos, es meramente identificativo.
- TYPEANI: Corresponde al tipo de animal (VL= Vaca de Leche, OV = ovino, BO = Bovino de carne y CH = Caprino)
- PVIF: Corresponde al peso vivo del animal en kg.
- MSI: Corresponde a la materia seca ingerida por el animal en Kg MS/animal/día.
- UREE: se cumplimenta con un 1 si la ración contiene urea y con un 0 si no.

En la tabla 7 se muestra un ejemplo del “archivo aliments” en el que aparece descrita la composición de la ración.

Tabla 7: Ejemplo de archivo de alimentos de una ración (Fuente: Propia).

RATION	SOURCE	CODALI	PCTXJ	PONDXJ
1	USER	UMF0001	24.15	1
1	USER	UFRG001	24.15	1
1	USER	UFMD001	9.49	1
1	INRA	CC0060	15.66	1
1	INRA	CN0080	0.93	1
1	INRA	CS0130	11.09	1
1	INRA	CS0070	1.94	1
1	INRA	CS0110	1.15	1
1	INRA	CX0040	8.45	1
1	INRA	CF0130	0.72	1
1	USER	UPGB001	0.46	1
1	INRA	CV0010	0.23	1
1	USER	UPCC001	0.52	1
1	USER	UPS0001	0.52	1
1	USER	UPAC001	0.42	1
1	USER	UPIV001	0.12	1

En este archivo deben aparecer los siguientes datos:

- Ration: Equivale al número de la ración analizada y debe coincidir con el número de ración introducido en el archivo de ración.
- SOURCE: Puede ser de dos tipos: INRA si este alimento es uno de los alimentos estándar de INRA, o USER si el alimento es de origen propio y se desea especificar su composición porque no se ajusta a ningún alimento estándar de INRA. Las características de estos alimentos USER aparecerán especificadas en el archivo user.
- CODALI: Se refiere al código del alimento. Si el alimento es uno de los alimentos estándar de INRA se deberá poner el código del alimento de las tablas 2007. Por otro lado, si el alimento es propio, el código estará formado por 7 caracteres (números y letras) siendo siempre el primer carácter la letra U.
- PCTXJ: Esta columna es el fundamento de este archivo, pues se refiere a la composición de la ración. En esta columna debe aparecer la composición de la ración expresada en % sobre materia seca tanto de forrajes como de componentes del concentrado.
- PONDXJ: Esta columna es útil en caso de que se quiera trabajar solamente con alimentos estándar de INRA. Si por ejemplo la ración seleccionada está compuesta por un maíz que no se ajusta a ningún alimento estándar de INRA pero se encuen-

tra entre dos de ellos, esta columna permite combinarlos. Si se quieren combinar dos ensilados de maíz, por ejemplo, en la columna CODALI deben aparecer los dos códigos en filas diferentes, en la columna PCTXJ debe aparecer la proporción de la materia seca de la ración que representa el ensilado de maíz (la misma para los dos códigos) y en la columna PONDXJ, debe aparecer la ponderación que se quiera establecer, por ejemplo 0,6 y 0,4. Es importante que al finalizar la cumplimentación de este archivo, se cumpla que $\sum PCTXJ * PONDXJ = 100$.

En la tabla 8 se muestra un ejemplo del “archivo user” en el que aparecen descritos los alimentos que son de origen propio.

Tabla 8: Ejemplo de un archivo user de una ración (Fuente: Propia)

CODALI	NOMMP	TYPE	TYPE2	FOUR	MO	MAT	NDF	AMIDON	EE	AGTOT	PF	EB
UMF0001	Maíz forrajero	F	MF	e	950.6	90.0	420.0	280.0	250	24.0	100	4452.48
UFRG001	Silo de ray grass	F	F	e	867.2	12.0	470.0	0	3,1	26.73	165.0	4226.0
UFMD001	ensilado maíz dulce	F	F	e	272.0	89.5	680.0	50.0	6.0	24.0	100.0	4280.0
UPGB001	Grasa by pas	C	C	x	840.0	0	0	0	840.0	0	0	7236.28
UPCC001	Carbonato Calcico	C	M	x	0	0	0	0	0	0	0	0
UPS0001	Sal	C	M	x	0	0	0	0	0	0	0	0
UPAC001	ACIBUF	C	M	x	0	0	0	0	0	0	0	0
UPIV001	corrector	C	M	x	21.0	0	0	0	0	0	0	0

DMO	DE	AN	BN	CN	DTN	pAA	DRN	AAMI	BAMI	CAMI	DTAMI	UEM
72.0	0,69	999999999	999999999	999999999	64	1	70.0	999999999	999999999	999999999	60.0	1.28
74	70	999999999	999999999	999999999	65.0	1	55.0	999999999	999999999	999999999	0	1.42
51.0	51.0	999999999	999999999	999999999	64.0	1.0	70.0	999999999	999999999	999999999	60.0	1.37
88	88	999999999	999999999	999999999	0	1	0	999999999	999999999	999999999	0	0.21
0	0	999999999	999999999	999999999	0	1	0	999999999	999999999	999999999	0	0.21
0	0	999999999	999999999	999999999	0	1	0	999999999	999999999	999999999	0	0.21
0	0	999999999	999999999	999999999	0	1	0	999999999	999999999	999999999	0	0.21
0	0	999999999	999999999	999999999	0	1	0	999999999	999999999	999999999	0	0.21

Los campos pueden ser de tres tipos diferentes: obligatorios, informativos y facultativos. En el presente trabajo solo se ha trabajado con parámetros obligatorios, ya que los parámetros informativos y facultativos no se analizan en los análisis físicos químicos ordinarios y además son parámetros difícilmente accesibles en bases de datos. En este archivo deben aparecer los siguientes datos de cada alimento propio:

- CODALI: Este nombre identificativo del alimento debe coincidir con el nombre del archivo alimentos.
- NOMMP: Aquí debe aparecer el nombre común que se le asigna al alimento.
- TYPE: C (si concentrado) o F (si forraje).
- TYPE 2: MF (ensilado de maíz), o F (forraje), o C (concentrado), o M (minerales/vitaminas).
- FOUR: *x* (si TYPEC=C), *e* si (ensilado), *f* (si heno), *p* (si paja), *r* (si raíces o tubérculos), *v* (si forraje verde), *dlg* (si alfalfa o leguminosas o gramíneas deshidratadas), *dmf* (si maíz forrajero deshidratado).
- MO: Materia orgánica (100-cenizas) expresada en g/kg MS (obtenido de análisis INTIA S.A.).
- MAT: Proteína bruta en g/kg MS (obtenido de análisis INTIA S.A.).
- NDF: FND del alimento en g/kg MS (obtenido de análisis INTIA S.A.).
- AMIDON: Contenido de almidón del alimento g/kg MS (obtenido de análisis INTIA S.A.).
- EE: Grasa de los alimentos g/kg MS (obtenido de análisis INTIAS.A.).
- AGTOT: Ácidos grasos totales en g/kg MS (obtenidos de simulaciones con alimentos INRA).
- PF: Productos de fermentación (obtenido del libro rojo de INRA 2007).
- EB: Energía bruta en kcal (obtenido de Prevalim).
- DMO: Digestibilidad de la materia orgánica en porcentaje (obtenido de Prevalim).
- DE: Digestibilidad de la energía en porcentaje (obtenido de Prevalim).
- DTN: Digestibilidad teórica del nitrógeno en porcentaje (obtenido de Prevalim).
- pAA: La proporción de aminoácidos siempre es 1 (Chapoutot, comunicación personal).

- DRN: Digestibilidad real del nitrógeno en porcentaje (obtenido de Prevalim).
- DTAMI: Degradabilidad del almidón en porcentaje (obtenido de simulación con alimentos INRA).
- UEM: Valor lastre medido en unidades lastre UL (obtenido de simulación con alimentos INRA).

Todos los demás parámetros son de carácter informativo, por lo que, al igual que los facultativos, se cumplimentan con 999999999 para que la simulación funcione.

Una vez generados los tres archivos, es importante saber que deben estar en formato CSV separado por comas (archivo de texto). Se debe tener en cuenta que al tratarse de una aplicación de origen francés los decimales deben ir separados por puntos y no por comas.

4.1.2 Descarga de datos

Tras subir estos tres archivos, la aplicación devuelve inmediatamente un archivo comprimido que contiene los siguientes archivos, como se puede ver en el anexo A.

- a) Aliments: corresponde al archivo alimentos de origen.
- b) Ration: Corresponde al archivo ración de origen.
- c) Table user: Corresponde al archivo user de origen.
- d) AT7: Aquí se encuentran los datos de los alimentos según las tablas 2007.
- e) ATS: Aquí se encuentran los datos de los alimentos según las tablas Systali.
- f) A_output: Es un resumen de los dos anteriores (AT7 Y ATS)
- g) ARS: Aquí se encuentran los alimentos valorados dentro de la ración incluyendo tasas de paso y digestibilidades.
- h) RT7: Aquí se encuentran los parámetros de la ración según la suma aditiva de los alimentos que la componen y según tablas del 2007.
- i) RTS: Aquí se encuentran los parámetros de la ración según la suma aditiva de los alimentos que la componen, pero en este caso según tablas Systaly.
- j) RRS: En este archivo aparecen los valores de la ración según tablas Systali y tras aplicar las tasas de paso, interacciones entre alimentos y digestibilidades.
- k) RNU: En este archivo aparecen otros parámetros de la ración, entre los que destacan el pH o las proporciones de acetato y butirato.
- l) R_output: Este archivo es la suma de los archivos RT7 y RTS.

Estos archivos de descarga están relacionados entre sí como se puede apreciar en la ilustración 2.

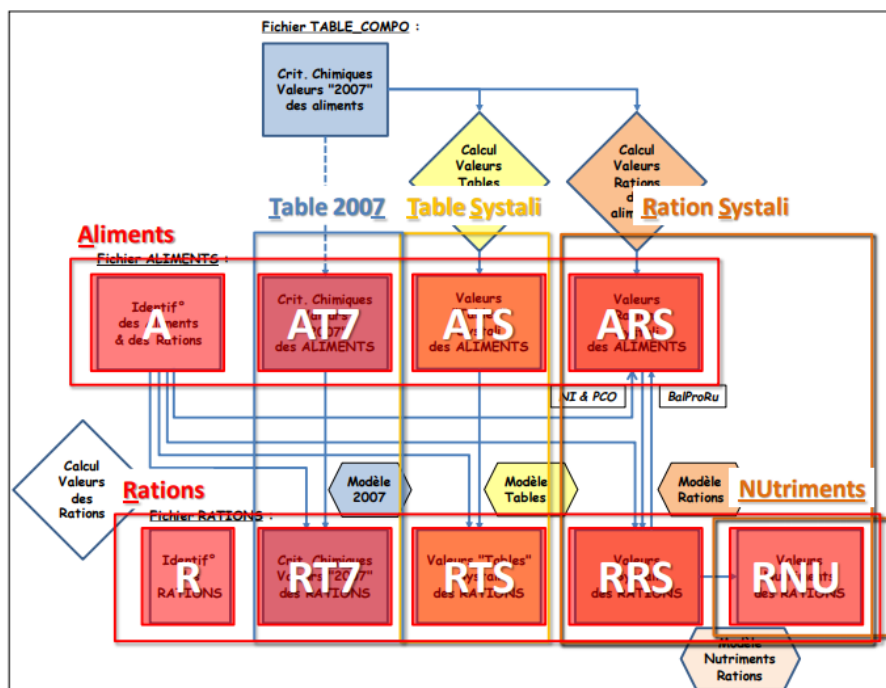


Ilustración 2: Estructura de archivos de descarga (Fuente: Chapoutot y Martin, 2017).

Para gestionar la información descargada, interpretar los resultados y completar el protocolo, se ha generado un archivo Excel que permite visualizar en una sola hoja aquellos datos de interés en racionamiento de vacuno de leche. Para generar estos informes se ha realizado una selección previa de los parámetros a mostrar, según la experiencia de técnicos en nutrición de rumiantes de INTIA, S.A. En el anexo B se puede ver un ejemplo de informe de alimentos generado a partir de los archivos de descarga (AT7, ARS, ATS, RT7, RTS, RRS y RNU).

Asimismo, en el anexo B se puede ver un informe de ración generado a partir de los archivos descargados. En dicho informe aparecen diferentes parámetros de la ración procedentes de los distintos archivos de descarga. Esto permite realizar una lectura de la evolución de algunos de ellos tras la aplicación de las tasas de paso y las interacciones digestivas (paso de RTS a RRS). Este es uno de los pilares de este nuevo sistema de INRA. Además, permite valorar algunos parámetros nuevos que, aunque de momento sean relativamente desconocidos, parece que en el futuro cobrarán importancia, tales como BalproRu o el nitrógeno urinario. Aunque en este informe aparezcan una gran cantidad de parámetros, en el estudio final no se tendrán todos en cuenta.

4.2 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA SYSTOOL WEB EN RACIONES DE VACUNO DE LECHE

El estudio de los alimentos de forma individual queda fuera del alcance del proyecto dejando la puerta abierta a futuros trabajos que analicen más en profundidad el comportamiento de los alimentos dentro de diferentes raciones. Aun así, a continuación, se presenta un análisis de la valoración energética de los alimentos para posteriormente profundizar en el análisis de las raciones. Asimismo, se hará una reflexión sobre las diferencias entre la valoración energética del sistema INRA 2007 y el sistema Systali.

4.2.1 Alimentos

Para realizar el análisis de la valoración energética se han tomado dos alimentos tipo de INRA con los que se ha creado una ración típica de una explotación de vacuno de leche de Navarra. La ración está compuesta por ensilado de maíz (FE4710) y ensilado de raigrás (FE1130) y un pienso complementario formado en su mayoría por harina de maíz. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9, las unidades utilizadas para la energía son UFL.

Tabla 9: Diferencias de valoración de energía (UFL) entre 2007, Systali (Fuente: propia).

Alimentos	Valoración según tablas 2007	Valoración según tablas Systali (2018)	Valoración aplicando Systool web*
Ensilado de raigrás	0,83	0,89	0,77
Ensilado de maíz	0,90	0,94	0,87
Harina de soja 48	1,21	1,3	1,1
Harina de maíz	1,22	1,25	1,14
DDG de maíz	1,1	1,13	1,01

* Alimentos valorados dentro de la ración incluyendo tasas de paso y las interacciones digestivas.

La valoración energética de los forrajes es un aspecto clave en el racionamiento, ya que es un parámetro difícilmente medible en laboratorio. En esta nueva revisión de INRA, también se ha actualizado la valoración energética, con el objetivo de hacer un racionamiento más eficiente. Como se puede ver en la tabla 9 la valoración energética de los forrajes según el nuevo sistema Systali es mayor que la que se hacía anteriormente con tablas del 2007, lo que podría llevar a pensar que se ha estado haciendo una subestimación de la energía, y que, por tanto, aparentemente se ha estado aportando a los animales más energía de la que se pensaba en un principio. No obstante, si se observa el valor de los alimentos en la ración (tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas), se ve

que el valor energético es incluso menor que el de la valoración que se hacía con el sistema de 2007. Esto refleja que, aunque la energía de cada alimento analizado individualmente se haya subestimado, la energía aportada por ese alimento dentro de una ración se ha sobreestimado. Por consiguiente, esto tendrá un impacto directo en el racionamiento, ya que, si existe un déficit de energía, la producción de proteína microbiana será menor y, además, existirá un exceso de proteína que se eliminará en orina, leche o heces.

Dentro de esta ración también se ha analizado el comportamiento de algunos componentes del concentrado. La evolución energética de los concentrados sigue la misma tendencia que los forrajes, de tal manera que la valoración energética aumenta cuando se utilizan las tablas Systali con respecto a la valoración de tablas 2007, y disminuye cuando se aplican las tasas de paso y las interacciones digestivas.

Por último, para atajar este problema, una posible solución puede ser aumentar los aportes energéticos de la ración o disminuir el aporte de proteína para equiparar los aportes de ambos y para equilibrarlos en el rumen y reducir el superávit de proteína. Además, este déficit energético hará que las vacas no expresen su máximo potencial productivo, y se infrutilice su capacidad productiva.

4.2.2 Raciones

Para realizar el análisis de los datos obtenidos de las raciones se han fijado algunos parámetros de trabajo. Al no ser estas raciones representativas a nivel de Navarra, los resultados obtenidos se deben interpretar con cautela y a sabiendas de que no se podrán extrapolar al total de las raciones de INTIA S.A. A continuación, se muestran uno a uno cuales han sido los resultados obtenidos y una breve reflexión sobre los mismos.

4.2.2.1 Tasa de paso

Esta es una de las novedades fundamentales de la versión 2018, y es sobre la que se basan la mayoría de los cálculos de los demás parámetros, ya que una tasa de paso excesivamente rápida hace que la digestibilidad de esa ración decaiga y parte de ella atraviese el rumen sin ser degradada. Si la tasa de paso es demasiado lenta la vaca llenará la panza, pero no obtendrá un rendimiento máximo de esa ración y, además, no se alcanzará el máximo potencial productivo.

Los datos obtenidos de la tasa de paso (gráfico 1) tienen una media de 5,29 %/h y una desviación típica de 0,19 %/h.

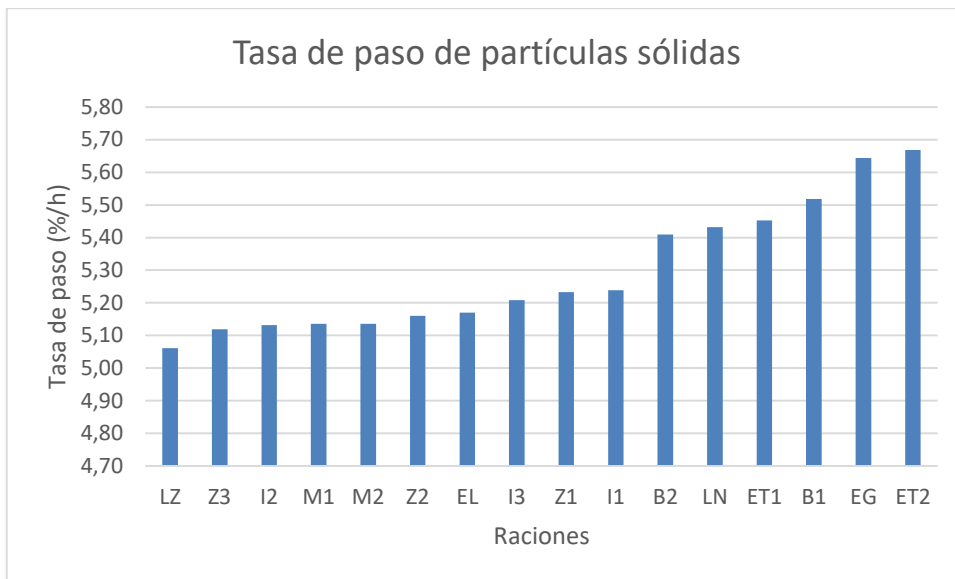


Gráfico 1: Resultado de tasa de paso de partículas sólidas.

Estos datos reflejan que la tasa de paso fija que se ha estado utilizando hasta el momento (INRA la establecía en 6%/h) no sería aplicable en las raciones analizadas, ya que difieren ligeramente.

A continuación, se muestra cual es la relación entre la IMS y la tasa de paso.

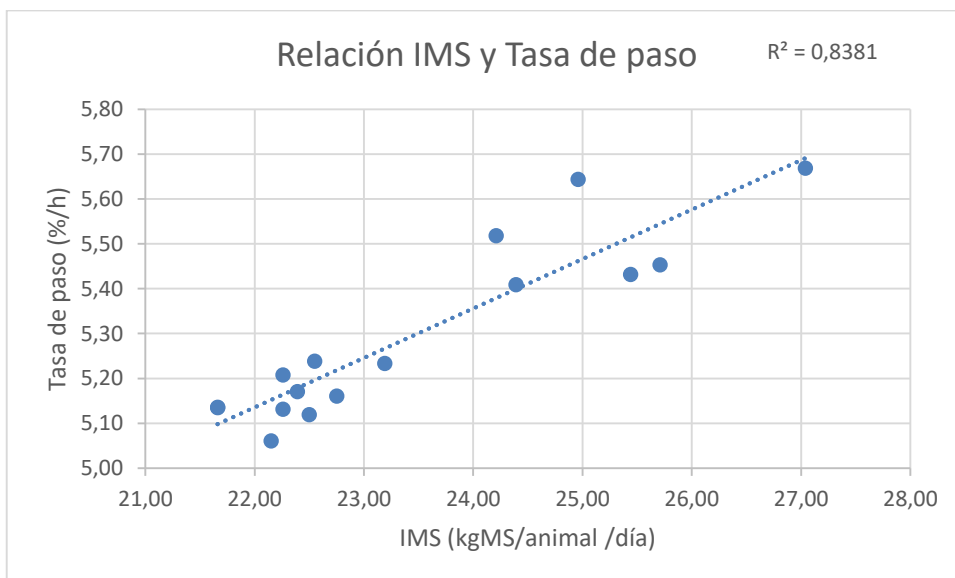


Gráfico 2: Relación entre IMS y Tasa de paso (Fuente: Propia).

Como se puede ver en el gráfico 2, la IMS y la tasa de paso de una ración están relacionadas de manera directa, de tal manera que las mayores tasas de paso se dan en las

raciones que mayor IMS presentan. También se debe saber que las raciones con una mayor IMS son aquellas que darán mayores producciones de leche. Este último es un factor que influirá en los aportes de proteína y energía como se podrá apreciar en próximos apartados.

4.2.2.2 Degradabilidad del nitrógeno

La degradabilidad del nitrógeno es un dato muy importante, ya que de ella depende la producción de proteína microbiana, y es por ello que se debe tener muy en cuenta en el racionamiento práctico. Una alta degradabilidad del nitrógeno dará altos contenidos de proteína de origen microbiano en el intestino, si se combina con un aporte energético proporcional al proteico, ya que los microbios del rumen serán capaces de aprovechar al máximo la proteína degradable.

Los datos obtenidos de la digestibilidad del nitrógeno (gráfico 3) tienen una media de 62,67 % y una desviación típica de 1,9 %.

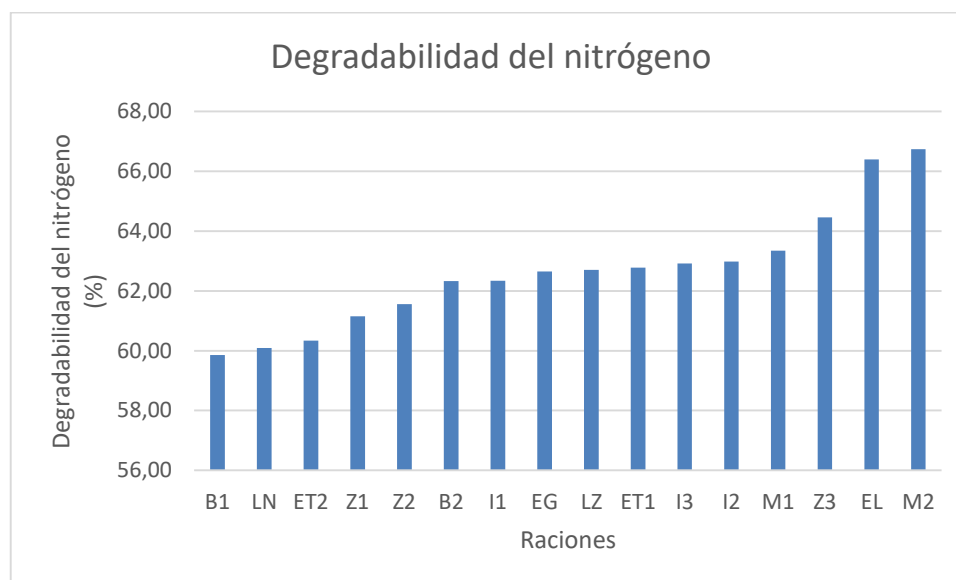


Gráfico 3: Resultados obtenidos de la degradabilidad del nitrógeno.

Como se ha explicado anteriormente, Systool web calcula los parámetros de la ración con tablas Systali de forma aditiva y también tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas (Systali dinámico). A continuación, se muestra cual es el cambio de digestibilidad del nitrógeno tras aplicar las tasas de paso (Tabla 10).

Tabla 10: Degradabilidad del nitrógeno (%): Media y error estándar medio (SEM)

	INRA 2007	Systaly	Systali dinámico**	SEM	Significación
Degradabilidad del nitrógeno [%]	65,7 ^a	66,64 ^a	62,66 ^b	0,46	0,000

*Superíndices diferentes indican diferencias significativas entre los sistemas de alimentación.

** Systali más tasas de paso e interacciones digestivas.

La evolución de la degradabilidad del nitrógeno, sigue el mismo patrón que la energía valorada en los alimentos. La degradabilidad aumenta en la estimación con tablas Systali con respecto a la estimación realizada con tablas 2007 aunque no de manera significativa. Por otro lado, la degradabilidad del nitrógeno disminuye por debajo de los valores de la estimación de 2007 cuando se aplican las tasas de paso ($P=0,000$). Este descenso de la degradabilidad hará que para que los microorganismos del rumen funcionen correctamente los aportes de proteína deban ser mayores, para que el total de proteína degradable sea el mismo.

4.2.2.3 BPR (Balance Proteico del Rumen)

Este nuevo parámetro tiene en cuenta los aportes energéticos y nitrogenados, y con ello realiza un balance que da una idea de la compensación entre energía y proteína en el rumen. Como se ha comentado anteriormente se calcula restando a la proteína bruta la proteína no degradable en el rumen (PDIA), la proteína microbiana y la proteína de origen endógeno. En este cálculo la energía va implícita en el cálculo de la proteína microbiana, ya que es uno de los factores a tener en cuenta en su generación.

A priori BPR es uno de los parámetros más útiles y aplicables que proporciona Systool web, ya que en una sola cifra aúna gran cantidad de factores. A continuación, se muestran cuáles son los valores obtenidos para este parámetro.

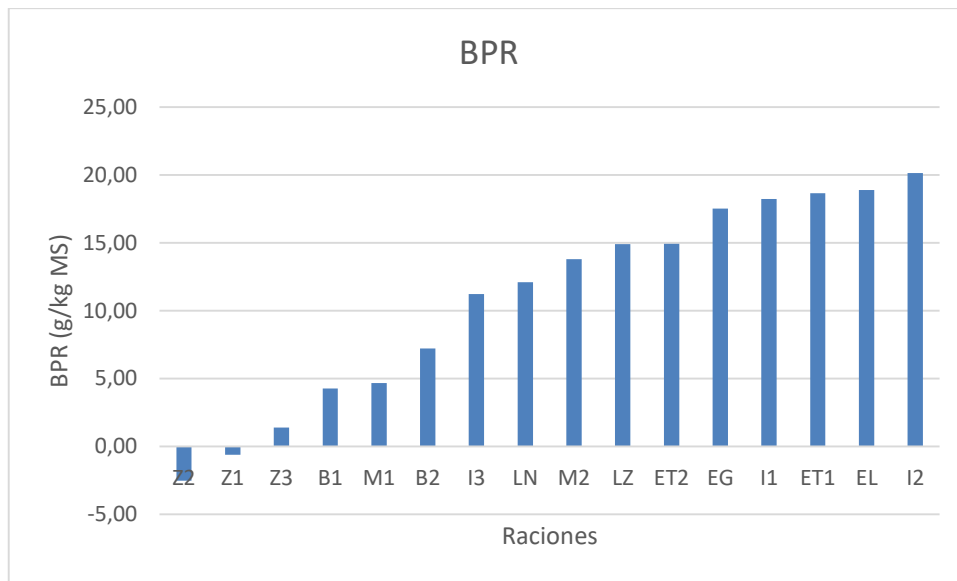


Gráfico 4: Resultados obtenidos del Balade Proteico del Rumén.

Como se puede ver en el gráfico 4, los datos obtenidos son muy dispares, tanto es así que tienen una media de 10,93 g/kg MS y una desviación típica de 7,52 g/kg MS. Estos valores se sitúan dentro de los valores obtenidos por INRA tras analizar la base de datos BoviDig (11 ± 32 g/kg MS) lo que indica que los datos obtenidos para BPR no se alejan de la realidad. Por esto, mediante análisis estadístico, se ha intentado buscar correlaciones entre diferentes parámetros para intentar entender el fundamento de BPR.

En cuanto a las correlaciones encontradas, existe una correlación significativa de BPR con la proteína bruta de la ración ($0,931^{***}$, $P=0.000$), ya que está involucrada en el cálculo del BPR. La relación con la PDIA ($0,643^{**}$, $P=0.007$) y con la PDI ($0,689^{**}$, $P=0.003$) es positiva, pero no porque influyan de esta manera en el cálculo, sino que como las raciones no son del mismo nivel proteico, aquellas que tienen más PB también tienen más PDIA y PDI, y por eso la correlación es positiva. Para obtener resultados concluyentes se deberían utilizar raciones con el mismo nivel proteico y diferentes digestibilidades del nitrógeno. La correlación con el nitrógeno urinario es directa (1^{***} , $P=0.000$), ya que un BPR elevado indica que existe un exceso de proteína, y, por tanto, el animal lo elimina por vía urinaria en forma de nitrógeno (urea).

4.2.2.4 Energía neta

A continuación, se muestran los datos obtenidos de la valoración energética de la ración (gráfico 5). Estos datos tienen una media de 0,71 UFL y una desviación típica de 0,14 UFL.

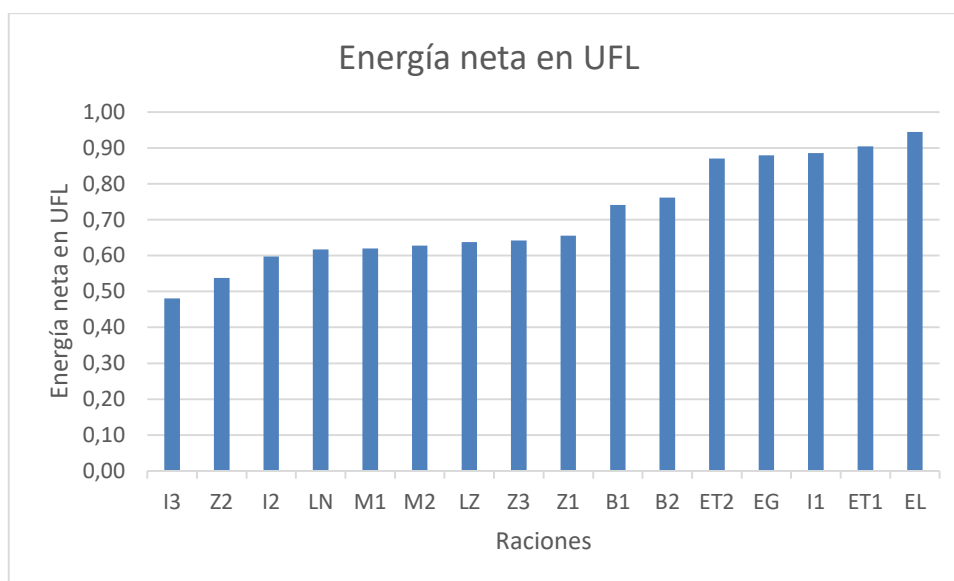


Gráfico 5: Resultados obtenidos de Energía neta en UFL.

A continuación, se exponen cuáles son los valores de energía calculados según los diferentes sistemas de alimentación (tabla 13).

Tabla 11: Energía neta en UFL: Media y error estándar medio (SEM).

	Systaly	Systali dinámico	SEM	Significación
Energía (UFL)	0,81 ^a	0,71 ^b	0,03	0,039

*Superíndices diferentes indican diferencias significativas entre los sistemas de alimentación.

** Systali más tasas de paso e interacciones digestivas.

Como se puede ver en la tabla 11, la diferencia entre la valoración energética con tablas Systali y después de aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas son estadísticamente diferentes, siendo la valoración dinámica significativamente menor. Esto tiene una implicación práctica clara, y es que se puede intuir que estos animales están siendo subalimentados energéticamente y que, por tanto, los microorganismos del rumen no pueden realizar su función y sintetizar proteína microbiana de manera óptima.

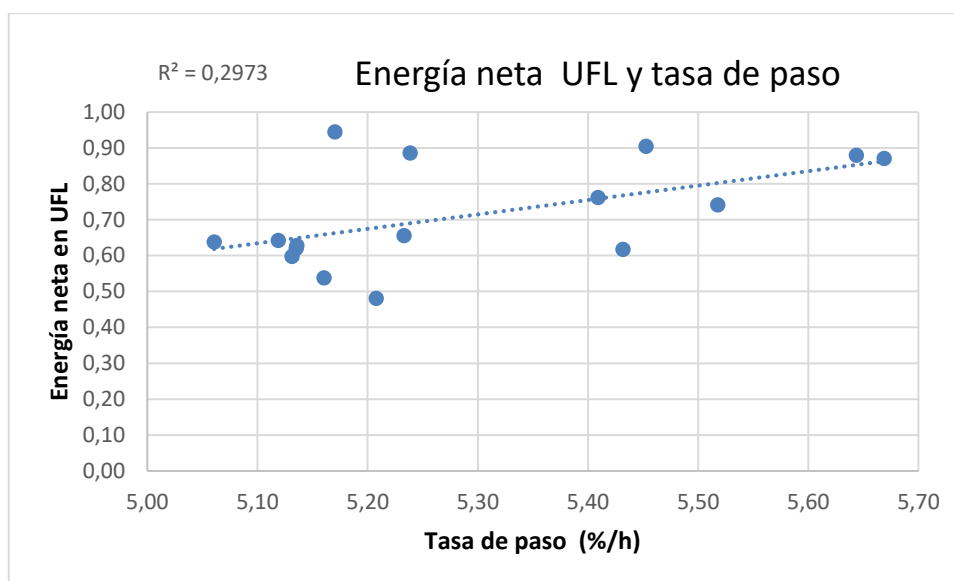


Gráfico 6: Relación entre EN (UFL) y tasa de paso (%/h)

Como se muestra en el gráfico 6, la relación entre EN y tasa de paso es positiva, pero con un R^2 baja. Aun así, esta idea puede resultar contradictoria, ya que las raciones utilizadas no son del mismo nivel productivo y es que se han utilizado raciones de vacas que tienen una producción media de 24 l de leche/día y vacas que tienen una producción media de 42 l de leche/día. Para poder evaluar esta relación, las raciones utilizadas deberían ser del mismo nivel productivo. Por tanto, la justificación de esta relación podría ser la siguiente: los animales con mayor tasa de paso son animales que producen más y tienen una mayor IMS y que, por tanto, ingieren mayores cantidades de energía y probablemente es por eso por lo que la EN es mayor y no por una razón biológica.

4.2.2.5 Energía en forma de CH_4

Debido a que los aspectos medioambientales cobran cada vez mayor importancia, las pérdidas de energía en forma de metano son una de las bases de la creación de este sistema. Por tanto, se ha visto que es fundamental analizar cuáles son los factores que hacen que el animal genere más o menos metano. Primero se muestran cuáles han sido los valores obtenidos de la energía perdida en forma de CH_4 .

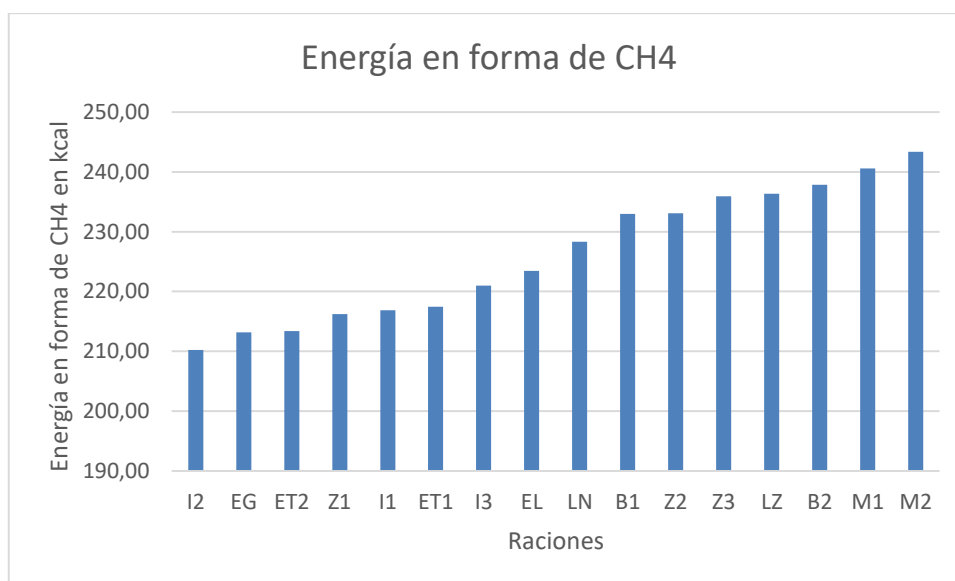


Gráfico 7: Resultados obtenidos de la energía perdida en forma de CH₄.

La media de la energía perdida en forma de metano (gráfico 7) ha sido 226,26 kcal con una desviación típica de 11,01 kcal. Al igual que en otros parámetros analizados, la estimación de la energía perdida en forma de metano desciende cuando se aplican las tasas de paso y las interacciones digestivas, como se puede ver en la tabla 12.

Tabla 12: Energía perdida en forma de metano (kcal): Media y error estándar medio (SEM).

	Systaly	Systali dinámico	SEM	Significación
Energía perdida en forma de metano [kcal]	316,07 ^a	226,26 ^b	2,6	0,000

*superíndices diferentes indican diferencias significativas entre los sistemas de alimentación.

** Systali más tasas de paso e interacciones digestivas.

Para valorar la energía perdida en forma de metano, solo se ha dispuesto de datos de Systali, ya que esta valoración no se realizaba anteriormente. Entre las dos valoraciones de las que se dispone se puede decir que existen diferencias estadísticamente significativas.

Además, se han obtenido las siguientes correlaciones Person con el objetivo de intentar ver cuales son las causas que hacen que se den diferentes niveles de pérdida de energía en forma de metano. La producción de CH₄ presenta correlación (negativa o

positiva) en varios de los parámetros analizados. Así, como era de esperar, la energía perdida en forma de metano tiene correlación positiva con la FND del forraje (0,64**, P=0.007). La relación con la FND es positiva, ya que la fibra es la que origina el movimiento ruminal y la rumia, y junto a ella la regurjitación del bolo ruminal y la expulsión de gas metano.

Con el objetivo de reducir las emisiones de CH₄, INRA (INRA, 2018) recomienda el suministro de taninos en la ración. Estas recomendaciones no son muy claras por la diversidad de trabajos realizados al respecto.

Por otro lado, se ha realizado otro estudio para ver el efecto de la adición de 3-nitrooxypropanol (3-NOP) (Jayanegara, 2018) en el que se ha concluido que la adición de 3-NOP es efectiva para reducir la producción de metano. No obstante, no se sabe cuáles serán los efectos sobre los productos obtenidos de los animales alimentados con 3_NOP, por lo que este método está pendiente de estudio.

Según Vanegas (2017) existe una relación entre el aporte proteico y la emisión de metano que se debe a que durante la digestión de la proteína se produce una fermentación de las cadenas carbonadas, proceso metabólico que forma parte de la fermentación ruminal, esencial en el proceso digestivo de estos animales. Este estudio concluye que la sustitución de nitrógeno no proteico por nitrógeno proteico aumenta la producción de metano. La producción de metano aumenta cuando el sustrato es rápidamente fermentable. Todos estos resultados han sido calculados *in vitro*, pero si estos resultados se confirman *in vivo*, se podrá afirmar que, evitando un exceso de proteína degradable, se reducirán las emisiones de metano. Tras analizar los datos obtenidos de la producción de metano se ve que existe un descenso tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, al igual que la degradabilidad del nitrógeno. Por tanto, el descenso de la producción de metano puede deberse a que la degradabilidad de la proteína también ha descendido.

Con el objetivo de ver la influencia del aporte proteico sobre la producción de metano, se ha generado el siguiente gráfico (gráfico 8), en el que se puede observar que las mayores pérdidas de energía en forma de metano no se dan en raciones con los aportes proteicos más altos, sino que se dan en aportes medios. Este resultado se debe tomar con mucha cautela, ya que al existir relación negativa entre PB y FND, seguramente los aportes proteicos más bajos den pérdidas energéticas en forma de metano más bajas por ser raciones con mayores contenidos de FND y no por tener altos contenidos de PB.

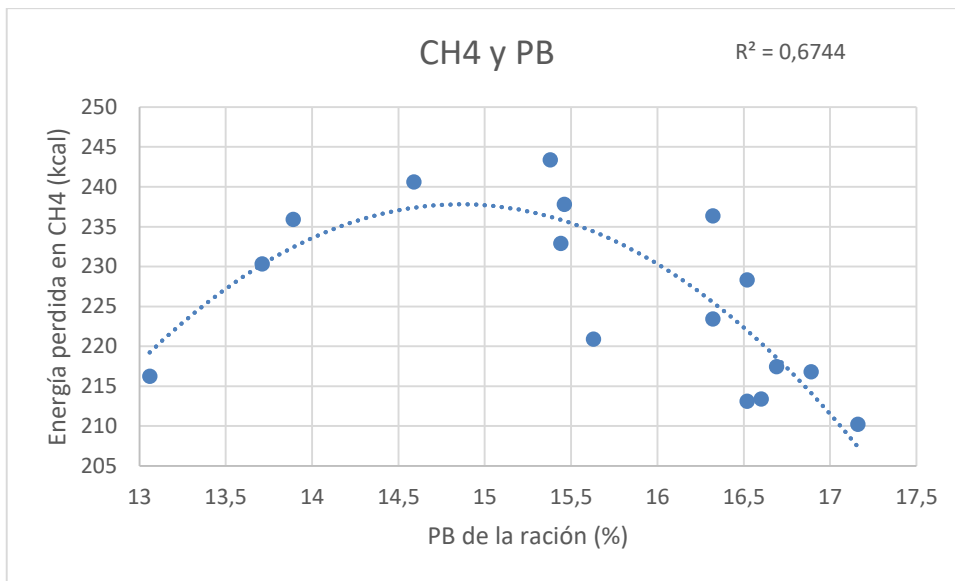


Gráfico 8: Relación entre PB y pérdida de energía.

4.2.2.6 Índice de riesgo de acidosis (IRA)

En esta última versión de INRA (Systali) se propone un nuevo parámetro para estimar lo acidogénica que es cada ración. Este parámetro tiene unos valores entre 0 y 2, siendo 0 riesgo nulo, 1 bajo riesgo y 2 alto riesgo.

Para realizar la estimación en el presente proyecto se han tomado los siguientes parámetros: FND de la ración, FND del forraje, porcentaje de pienso y almidón degradable en el rumen. Tras realizar los cálculos se han obtenido los siguientes datos.

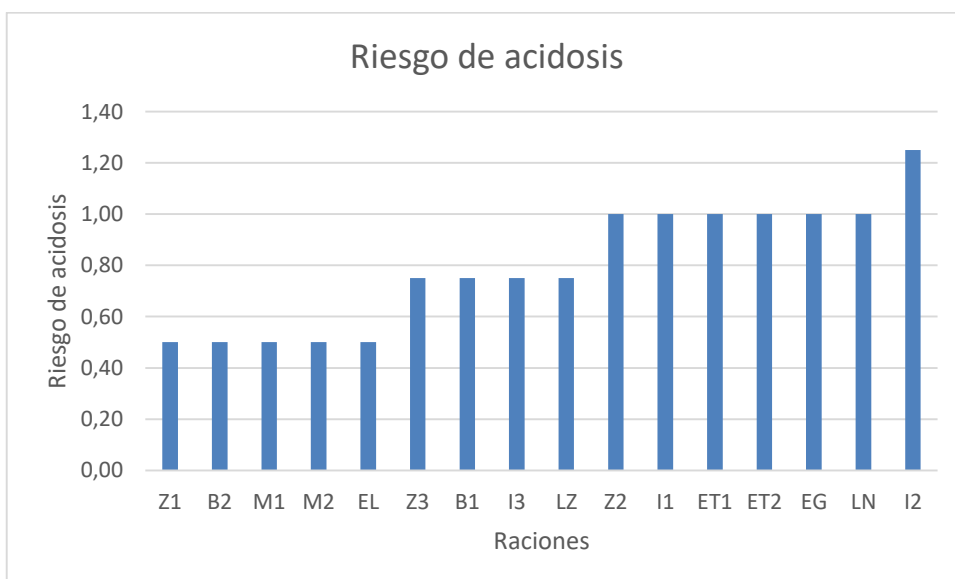


Gráfico 9: Resultados obtenidos del Índice de Riesgo de Acidosis.

Según los resultados obtenidos, el índice de riesgo de acidosis (gráfico 9) presenta una media de 0,8 lo que quiere decir que las raciones analizadas no tienen un riesgo grave de generar acidosis, además se debe tener en cuenta que solo una ración ha excedido el límite de 1 (bajo riesgo). Se habría obtenido un resultado más fiable si el cálculo se hubiera realizado con más factores, pero aun así se puede intuir que las raciones analizadas no son acidogénicas.

Relacionado con este parámetro, se han estudiado los datos obtenidos del cálculo del pH. Tras la simulación de Systool web, se muestran dos datos de pH, uno calculado según FND y otro calculado según el almidón digestible en el intestino. A continuación, se muestran cuáles son los valores obtenidos.

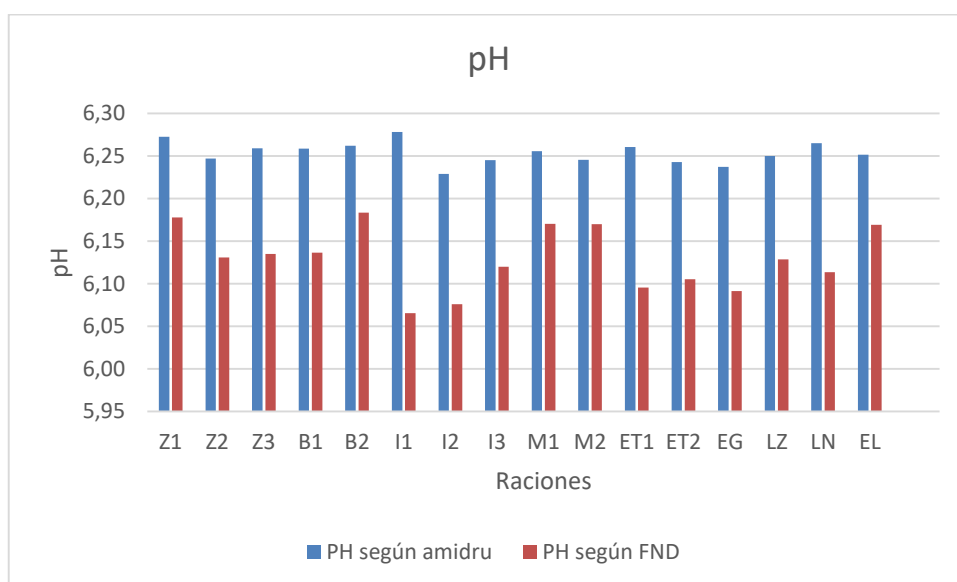


Gráfico 10: Resultados obtenidos de pH según la FND y según el almidón digestible en el intestino.

Los datos obtenidos de pH (gráfico 10) tienen una media de 6,13 para el calculado mediante la FND y 6,25 para el calculado mediante amidru. El funcionamiento del rumen es óptimo en valores superiores a 6 (Hulsen,2014), con lo cual, se puede afirmar que el pH generado por las raciones valoradas garantiza el óptimo funcionamiento del rumen.

Por tanto, y tras analizar todos los resultados obtenidos, parece que estos datos apuntan a que la valoración energética que realiza Systali, tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, es menor que la realizada hasta el momento. Lo mismo sucede

con la degradabilidad del nitrógeno. Las pérdidas de energía en forma de metano disminuyen una vez aplicadas las interacciones, probablemente debido al descenso de proteína degradable. Si todas estas tendencias se confirmaran, tendrían una implicación práctica en racionamiento, y es que sería más recomendable realizar un cálculo dinámico en lugar de un cálculo lineal como se ha venido realizando hasta el momento.

5 CONCLUSIONES

Con el Material y Métodos empleados y a partir de los Resultados obtenidos, se ha llegado a las siguientes Conclusiones:

1. Se ha creado un protocolo de tratamiento de datos que permite generar los archivos de subida a la plataforma Systool web y gestionar los archivos de descarga, así como los informes de los alimentos y de las raciones.
2. La valoración energética de los alimentos valorados individualmente es mayor con tablas Systali que con tablas 2007, pero cuando se aplican las tasas de paso y las interacciones digestivas la valoración energética cae por debajo de la valoración de 2007.
3. La valoración energética de las raciones sin embargo aumenta al aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas. Este resultado es contradictorio, por lo que habría que seguir estudiando las causas de estas diferencias.
4. La degradabilidad del nitrógeno sigue el mismo patrón que la energía valorada en los alimentos, aumenta con las tablas Systali y disminuye al aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas.
5. La producción de metano disminuye tras aplicar las tasas de paso y las interacciones digestivas, probablemente debido a la bajada de la digestibilidad del nitrógeno.
6. Las raciones analizadas no tienen riesgo aparente de generar acidosis, aunque para la estimación se han utilizado solo 4 parámetros.
7. Finalmente, se intuye que los cambios que sufren las raciones (en energía y proteína) tras aplicar tasas de paso e interacciones digestivas son sustanciales y que, por tanto, el reto del racionamiento es generar herramientas que permitan realizar un racionamiento dinámico diferente al racionamiento lineal que se ha utilizado hasta el momento.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Anuraga Jayanegara, Ki Ageng Sarwono, Makoto Kondo, Hiroki Matsui, Muhammad Ridla, Erika B. Laconi and Nahrowi, (2018). Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 17 (3), 650-656.
- Bach, A. y Calsamiglia, S. (2002), *Manual de racionamiento para vacuno lechero*. Servet Diseño y Comunicación, S.L.
- Bach, A. y Calsamiglia, S. (2016). La fibra en los rumiantes: ¿química o física?
- Chapoutot, P. Martin, O. (2017). Systool Web: un outil d'appropriation du modèle des apports "Systali". Version 1.2. Paris.
- Gonzalez López, J. (2016). El sector lácteo: especial referencia al sector vacuno lechero en Galicia. (Trabajo fin de grado). Universidad da Coruña.
- Higgs, R.J. and Van Amburgh, M.E. (2015). *Evolution of the CNCPS – development of V7*. Department of Animal Science, Cornell University.
- Hulsen, J., Aerden, D., Robenburg, J. (2014). *Feeding signals*. Cow signals.
- INLAC. 2015. En sector lácteo en España, Datos de producción, industria y consumo.
- INRA. (2018). *Feeding Sistem for Ruminants*. Wageningen Academic Publishers.
- Institut de Reserca i Tecnologia Agro alimentàries, Consell insular de Menorca. (2004). *El agua potable, principal nutriente de las vacas*. Nº:46
- Ministerio de Agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. (2016). *Informe técnico de vacuno de leche*. NIPO: 013-17-122-1.
- Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. (2016). *Datos de producción de piensos 2016*.
- Mujika, I. (2017). Resultados gestión técnico económica de explotaciones de vacuno lechero en Navarra.
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Washington.
- Sauvant, D. and Nozière, P. (2015). Quantification of the main digestive processes in ruminants: the equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems. *Animal* 10 (5). 755-770.
- Feed nutrients, energy. University of Minnesota Extension. Recuperado el 31 de mayo de 2018. <https://www.extension.umn.edu/agriculture/dairy/feed-and-nutrition/feeding-the-dairy-herd/feed-nutrients.html>
- Vanegas, J.L. Gonzalez, J. and Carro, M.D. (2017). Influence of protein and carbohydrate sources on *in vitro* methane production. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 101 (5).

7 ANEXOS

7.1 ANEXO A

Systool Web 1.2

Accueil Modèle Aliments Modèle Rations **Calculs** Téléchargements FAQ Contact Déconnexion : insausti

Structure du modèle Structure des fichiers **Chargement des données**

Chargement des données à traiter

Les données doivent être organisées dans des fichiers texte avec séparateur point virgule (fichiers.csv) mis en forme selon les modèles que vous pouvez télécharger sur la page [téléchargements](#).

Obligatoire

Fichier de composition des **rations** Ningún archivo seleccionado [modele_ration.csv](#)

Fichier des caractéristiques des **aliments** Ningún archivo seleccionado [modele_aliments.csv](#)

Optionnel

Fichier de **composition des aliments utilisateur** Ningún archivo seleccionado [modele_table_user.csv](#)

Attention : une nouvelle variable (pAA) doit être intégrée dans le fichier de composition des aliments utilisateurs

Ilustración 3: Pantallazo de un ejemplo de devolución de datos de Systool web.

Systool Web 1.2

Accueil Modèle Aliments Modèle Rations **Calculs** Téléchargements FAQ Contact Déconnexion : insausti

Structure du modèle Structure des fichiers Chargement des données **Nouveaux résultats**

Résultats du 2018-05-30 23h22m22s

Attention N'oubliez pas de télécharger vos résultats, ils seront perdus si votre session expire ou si vous relancez un calcul

Tout dans un zip	Fichiers d'entrée	Aliments	Rations
télécharger	ration.csv télécharger voir	A_output.csv télécharger voir	R_output.csv télécharger voir
	aliment.csv télécharger voir	AT7.csv télécharger voir	RT7.csv télécharger voir
	table_user.csv télécharger voir	ATS.csv télécharger voir	RTS.csv télécharger voir
		ARS.csv télécharger voir	RRS.csv télécharger voir
			RNU.csv télécharger voir

Résumé des calculs

CARACTÉRISTIQUES DES 1 RATIONS		RÉPARTITION DES 19 ALIMENTS		RATIONS PAR TYPE D'ANIMAL		PLAGES DE VARIATION DES RATIONS			
Aliments	Nb.rations	Aliments	Nb.alim.	Type animal	Nb.rations		min	moy.	max
Uniquement INRA	0	INRA	11	VL	1	Niveau d'ingestion (NI, en % Poids vif)	3.47	3.47	3.47
Uniquement USER	0	dont fourrages	0			Proportion de concentré	0.48	0.48	0.48
INRA et USER	1	dont concentrés	11						
Contenant de l'urée	1	USER	8						
		dont fourrages	3						
		dont concentrés	5						

Ilustración 4: Pantallazo de un ejemplo de devolución de datos de Systool web.

7.2 ANEXO B

Tabla 13: Ejemplo de informe de un alimento (Fuente: Propia).

Explotación:

Fecha:

09/05/2018



Nº Ración:

1

Peso vivo:

675

Tipo de animal:

VL

MSI:

23,19

Litros de leche:

27

Urea

Sí

Grasa leche:

36,1

Proteína:

32,2

Maíz forrajero

Parámetros	Unidades	2007 (AT7)	Systool (ATS)	Valor en la ración (ARS)
NI referencia	%PV		1,44	
Tasa de paso de partículas sólidas	%/h			5,23
Proteína bruta ración	g/kg MS	90,00		
Degradabilidad del nitrógeno	%		69,35	64,35
Fracción soluble proteína	%			
Proteína de origen alimentario	g/kg MS		16,80	19,54
PDIME	g/kg MS		47,47	44,23
Proteína microbiana saliendo rumen	g/kg MS		74,17	69,11
PDI=PDIE=PDIA+PDIME	g/kg MS		64,26	63,77
Balproru sin urea	g/kg MS			-25,40
Balproru de referencia	g/kg MS		0,00	
Balproru	g/kg MS		-25,95	-25,40
Metionina digestible	% PDI		NAN	NAN
Lisina digestible	% PDI		NAN	NAN
Energía metabolizable kcal	kcal		0,00	0,00
Energía metabolizable MJ	MJ		-2,04	0,00
Energía neta UFL	UFL/kg MS		0,00	0,00
Energía neta UFV	UFL/kg MS		0,00	0,00
Energía en forma de CH ₄	kcal		319,84	218,94
Almidón ración	g/kg MS			
Digestibilidad del almidón	%		70,29	61,00
Aminoácidos en P microbiana	g/100g			
FND ración	g/kg MS			
FND forraje	g/kg MS			420,00
FND digestible	g/kg MS			208,75
FND digestible en rumen	g/kg MS		232,03	180,66
Extracto etéreo ración	g/kg MS			
Ácido palmítico	g/kg MS		NAN	
Ácido oleico	g/kg MS		NAN	
Ácido linoleico	g/kg MS		NAN	
Ácido linolenico	g/kg MS		NAN	

Tabla 14: Ejemplo de informe de una ración (Fuente: Propia).

Explotación:**Fecha:**

09/05/2018

Nº Ración:

1

Peso vivo:

675

Tipo de animal:

VL

MSI:

23,19

Litros de leche:

27

Urea

Sí

Grasa leche:

36,1

Proteína:

32,2

**Valoración
systool**

Parámetros	Unidades	Necesidades Systali	2007 (RT7)	Systool (RTS)	Ración (RRS)	RNU
NI referencia	%PV				1,84	
Tasa de paso de partículas sólidas	%/h				5,23	
Horas totales tránsito	h				19,11	
Proteína bruta ración	g/kg MS		130,60			
Degradabilidad del nitrógeno	%		63,87	65,22	61,15	
Proteína de origen alimentario	g/kg MS		NAN	36,13	40,17	
PDIME	g/kg MS			44,13	42,41	
Proteína microbiana saliendo rumen	g/kg MS				66,26	
PDI=PDIE=PDIA+PDIME	g/kg MS	87,17	NAN	80,26	82,58	
Balproru sin urea	g/kg MS				-6,32	
Balproru de referencia	g/kg MS				-7,86	
Balproru	g/kg MS			2,03	-0,59	
Nitrógeno urinario	g/kg MS					7,66
Urea en leche	mg/l					
RMIC 2007		0,00	NAN			
Metionina digestible	% PDI	7,00	NAN	NAN	NAN	
Lisina digestible	% PDI	2,40	NAN	NAN	NAN	
Energía metabolizable kcal	kcal		NAN	2061,79	1913,44	
Energía metabolizable MJ	MJ			8,62	8,00	
Energía neta UFL	UFL/kg MS	0,78	NAN	0,76	0,66	
Energía neta UFV	UFL/kg MS		NAN	0,75	0,56	
Energía en forma de CH ₄	kcal			291,66	216,24	
Almidón ración	g/kg MS		210,96			
Digestibilidad del almidón	%		62,56	66,66	60,44	
FND ración	g/kg MS	0	378,55			
FND forraje	g/kg MS	1			279,47	
FND digestible	g/kg MS				198,51	
FND digestible en rumen	g/kg MS				173,28	
Porcentaje pienso	%	1			0,42	
Almidón degradable en rumen	g/kg MS	0				127,50
Riesgo de acidosis IRA	de 0 a 2					0,50

Almidón digestible intestino delgado	g/kg MS					53,26
Proporción de acetato	%					62,58
Proporción de propionato	%					22,79
Proporción de butirato	%					12,24
PH según amidru	pH					6,27
PH según FND	pH					6,18
Extracto etéreo ración	g/kg MS		81,19			
Ácidos grasos totales absorbidos en ID	g/kg MS					23,85
Ácido palmítico C16_0 absorbidos en ID	g/kg MS					NAN
Ácido oleico C18_1 absorbidos en ID	g/kg MS					NAN
Ácido linoleico C18_2 absorbidos en ID	g/kg MS					NAN
Ácido linoleénico C18_3 absorbidos ID	g/kg MS					NAN