



**Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza**



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Validación de Systool, la herramienta de racionamiento del nuevo sistema  
francés de alimentación de rumiantes

Validation of Systool, the rationing tool of the new French System for  
ruminant feeding

Autor:

Mateo Induráin Castillo

Director:

Antonio de Vega García

Facultad de Veterinaria

2017

## **ÍNDICE**

<u>Resumen</u> .....	3
<u>Abstract</u> .....	4
<u>Introducción</u> .....	5
-Principales diferencias entre INRAtion 4.0 y Systool .....	7
-Tasas de paso de nutrientes en rumen .....	7
- Balance proteíco en rumen .....	8
- Interacciones digestivas .....	9
- Efecto de las proporciones de forraje y de concentrado en la ración, y del balance proteico ruminal, en las interacciones digestivas: .....	10
- Materia orgánica fermentada en rumen (MOF).....	11
- Pérdidas de energía en forma de metano y orina .....	12
- Producción de proteína microbiana .....	13
- Factores de variación en la producción de proteína microbiana.....	13
<u>Justificación y objetivos</u> .....	14
<u>Metodología</u> .....	15
-Versión antigua del sistema (INRAtion 4.0).....	15
- Nueva versión del sistema (Systool).....	15
- Comparación entre los dos programas.....	20
<u>Resultados y discusión</u> .....	22
- Comparación de las raciones basadas en forraje.....	22
- Comparación de raciones completas.....	23
- Comparación de raciones según la semana de lactación.....	24
- Comparación de la valoración de Systool de forrajes solos o dentro de una ración.....	25
<u>Conclusiones</u> .....	28
- Comparación entre INRAtion y Systool.....	28
- Comparación de la valoración hecha por Systool de forrajes solos o con concentrado.....	28
-Conclusiones.....	29
<u>Valoración personal y bibliografía</u> .....	30

**RESUMEN: Validación de Systool, la herramienta de racionamiento del nuevo sistema francés de alimentación animal.**

El InstitutNational de la RechercheAgronomique (INRA) francés tiene prevista una revisión de su sistema de alimentación de rumiantes, cuya última versión data del año 2007. En el JointSeminar of theSubnetworksonNutrition and onProductionSystems of the FAO-CIHEAM Network forResearch and Development in Sheep and Goats (Montpellier, 16-18 de junio de 2015), el Dr. Daniel Sauvant ya adelantó las bases de la aplicación del nuevo sistema en cabras, mientras que en el 67th Annual Meeting of theEuropeanFederation of Animal Science (Belfast, 29 de agosto-2 de septiembre de 2016) hizo la presentación del nuevo sistema (Systali) para los rumiantes en general, cuya publicación está prevista para este año 2017. Este nuevo sistema se basa en una serie de ecuaciones de regresión incorporadas en un software (Systool) cuyo desarrollo y validación están todavía en una fase muy preliminar. Por ello, el objetivo de este trabajo fue validar la herramienta Systool para el racionamiento de vacas lecheras, comparando los resultados obtenidos para energía (UFL) y proteína (PDIE Y PDIN) con los derivados de la utilización del programa actualmente en uso (INRAtion 4.0), analizando las causas de las posibles discrepancias, y poniendo en valor las posibles ventajas de Systali. La valoración de los alimentos se ha estimado tanto para forrajes solos como para mezclas de éstos con concentrados.

Los resultados han mostrado que la valoración de los forrajes con Systool proporciona un mayor contenido en energía y PDIN (proteína digestible que llega al intestino cuando el factor limitante para la síntesis microbiana es la disponibilidad de nitrógeno degradable para las bacterias), pero un menor contenido en PDIE (proteína digestible que llega al intestino cuando el factor limitante para la síntesis microbiana es la disponibilidad de energía fermentable para las bacterias) que los proporcionados por el anterior sistema INRAtion 4.0. En el caso de las raciones mixtas forraje: concentrado, Systool proporciona un menor contenido en energía y PDIE, pero el mismo contenido en PDIN que el sistema INRAtion 4.0. Por otra parte, los valores de Systool para forrajes varían dependiendo de si éstos se administran solos o en raciones mixtas con concentrados, siendo los valores en este último caso inferiores para energía y PDIE, pero superiores para PDIN.

**ABSTRACT: Validation of Systool, the rationing tool of the new French System for ruminant feeding.**

The French Institut National de la RechercheAgronomique (INRA) is seeking to review its feeding system for ruminants, which last version was published in 2007. At the Joint Seminar of the Subnetworks on Nutrition and on Production Systems of the FAO-CIHEAM Network for Research and Development in Sheep and Goats (Montpellier, 16-18 June 2015), Dr. Daniel Sauvant gave an insight of the new system for goats, whereas at the 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (Belfast, 29 August-2 September 2016) he made the presentation of the new system (Systali) for all classes of ruminants. The publication of this new system is foreseen for this year 2017. This new system is based on a series of regression equations compiled in a software tool (Systool) which development and validation are still in a preliminary stage. For this reason, the aim of this work was the validation of this programme for dairy cows rationing, comparing the results obtained for energy (UFL) and protein (PDIE and PDIN) to those derived from the utilization of the actual tool (INRATION 4.0). An analysis of the likely discrepancies between the two systems will be carried out, and the advantages to be of Systali revealed. Feeding value of forages and forage: concentrate mixed rations was assessed.

The results showed that Systool provides higher UFL and PDIN (digestible protein that reaches the intestine when the limiting factor for microbial synthesis in the rumen is the availability of degradable nitrogen) values than INRATION 4.0 for forages but lower PDIE (digestible protein that reaches the intestine when the limiting factor for microbial synthesis in the rumen is the availability of fermentable energy) values. In the case of mixed rations, Systool provides lower UFL and PDIE values than INRATION 4.0 but the same PDIN. On the other hand, the values given by Systool for forages given alone are higher for UFL and PDIE but lower for PDIN than when they are given with concentrates.

## INTRODUCCIÓN

La alimentación de las vacas lecheras, según los datos de gestión técnico-económica del INTIA (Instituto de Tecnología Agroalimentaria de Navarra), representa alrededor del 60% de los costes variables de la explotación, y es uno de los factores más importantes ya que va a ser fundamental tanto económica como productivamente hablando. Para alcanzar el máximo rendimiento es necesario administrar a los animales raciones completas que aporten todos los nutrientes necesarios, garantizando la óptima producción, el bienestar animal y la calidad del producto, en este caso la leche.

El racionamiento rápido de los animales en la actualidad solo es posible gracias a la utilización de diferentes herramientas informáticas. A pesar de las dificultades que conllevan sus actualizaciones, es sumamente importante realizarlas para incorporar los avances en nutrición y metabolismo animal e igualmente en la evaluación de los alimentos y su rendimiento. La utilización de estos programas ha de permitir la formulación de raciones que, además de cubrir las necesidades de los animales, lo hagan al menor coste ofreciendo un resultado equilibrado tanto en los nutrientes que se aportan como en el coste económico en función de cada etapa productiva de los animales.

Los principales sistemas de alimentación para vacas lecheras son el AFRC británico, el NRC americano y el INRA francés. Al principio, todos estos sistemas integraban conocimientos muy básicos sobre la digestión y el metabolismo de los nutrientes, y básicamente lo que hacían era sumar los nutrientes de los alimentos para conocer lo que aportaba la ración, sin tener en cuenta las diferentes interacciones que se pueden producir entre los principios activos de los alimentos, tanto más importante en el caso de los rumiantes por sus características únicas y especiales desde el punto de vista de la digestión y absorción de nutrientes (Sauvant y Noziere, 2016).

Debido a la necesidad de un uso más eficiente de los alimentos, de reducir los productos contaminantes de la digestión y metabolización de los alimentos en los animales, junto con mantener una buena salud y bienestar animal, las actualizaciones de estos sistemas se han hecho imprescindibles (Sauvant y Noziere, 2016). En el pasado reciente, la puesta al día de los sistemas solía producir con una periodicidad bastante larga debido a la dificultad que conlleva, incorporando nuevos conocimientos y mejorando así las predicciones. Estas actualizaciones se basaban, principalmente, en medidas más precisas de las necesidades animales y de los valores nutricionales de los alimentos.

En España, uno de los programas más utilizados para elaborar raciones en vacas lecheras ha sido el INRAtion, basado en el sistema francés INRA, cuya última actualización importante se realizó en el año 2007. A pesar del avance en alimentación animal que supuso el INRAtion, se han observado problemas no resueltos en el caso de dietas extremas, como las que tienen poco nitrógeno, un alto contenido en paredes celulares o dietas ingeridas en gran cantidad y con mucha energía (Sauvant y Noziere, 2016). Sin embargo, en la actualidad, con el avance matemático, estadístico y computacional, se ha conseguido llevar a cabo un metaanálisis de datos publicados en diferentes bases como forma de aumentar la precisión de las predicciones (Schmidely et al., 2008).

Para realizar el metaanálisis de la actualización objeto del presente trabajo de fin de grado, Sauvant y Noziere (2016) recurrieron a diferentes bases de datos, como Bovidig o Rumener, que recogen experimentos y publicaciones sobre rumiantes. Igualmente tuvieron en cuenta los principales mecanismos digestivos que se ven afectados al modificar la composición de la dieta, algunos de los cuales ya eran considerados en la versión anterior, a los que se añadieron otros nuevos conocimientos para poder mejorar la precisión de las predicciones (Sauvant y Noziere, 2016).

Como nos recuerdan Sauvant y Noziere (2016) los objetivos principales del proyecto Systali son los siguientes:

- Mejorar el cálculo de la energía y proteína de los alimentos.
- Tener en cuenta los principales factores digestivos que intervienen, como las tasas de paso, la síntesis de proteína microbiana etc.
- Mejorar la predicción de los nutrientes que realmente aporta una dieta y que son absorbidos, considerando las interacciones energía-proteína que se producen en el rumen.
- Conseguir que estos objetivos se cumplan incluso para las dietas extremas en las que el INRAtion no tenía la precisión necesaria.

Tras realizar el análisis de las bases de datos, Sauvant y Noziere (2016) actualizaron ecuaciones y elaboraron otras nuevas destinadas a mejorar el cálculo de la energía y proteína considerando:

- Tasas de paso en el rumen.
- Interacciones digestivas.
- Digestión de la proteína y del almidón.

- Síntesis de proteína microbiana.
- Pérdidas que se producen como metano y orina.

La actualización de las ecuaciones va a posibilitar, según Sauvant y Noziere (2016):

- Calcular la digestión ruminal de proteína y almidón usando las ecuaciones de las tasas de flujo de líquidos y partículas, que dependerán del nivel de ingestión y de las proporciones de concentrado y forraje.
- Conocer los efectos que los principales factores, como el nivel de ingestión, la proporción de concentrado y el balance proteico en el rumen, tienen sobre la digestibilidad de la materia orgánica y sobre las pérdidas de energía en forma de orina y metano.
- Mejorar la precisión en el cálculo de la energía disponible para que los microorganismos sinteticen proteína en el rumen.

#### **Principales diferencias entre INRAtion 4.0 y Systool:**

##### *Tasas de paso de nutrientes en el rumen:*

Una de las mejoras del proyecto Systali con respecto al sistema anterior es que se han establecido ecuaciones para las tasas de salida del rumen, de forma independiente para líquidos y para partículas de forraje y de concentrado. La importancia de este cambio se debe a que estas tasas de paso son las que van a determinar la disponibilidad de sustratos para su degradación microbiana, y también la eficiencia del crecimiento microbiano (Sauvant y Noziere, 2016). Esto implica un gran avance, ya que en el INRAtion se asumía una degradación inmediata para la fracción soluble, mientras que para las partículas potencialmente degradables se estableció una tasa de paso constante de un 6%/h. Esta tasa fija únicamente es alcanzada algunas veces por el concentrado, por lo que el tiempo que realmente permanecen las partículas en el rumen es mayor, y la fracción que escapa de la degradación microbiana es menor de lo que se pensaba (Sauvant y Noziere, 2016).

Según la ecuación propuesta en el nuevo sistema para el paso de partículas, éste dependerá sobre todo del nivel de ingestión (FL) y de la proporción de concentrado (Sauvant y Noziere, 2016):

$$kpt = kft(1 - PCO) + kct * PCO,$$

Siendo kft la tasa de paso del forraje, PCO la proporción de concentrado, y kct la tasa de paso del concentrado. Por su parte,

$$kft = 2.02 + 0.88FL - 3.13PCO^2$$

y

$$kct = 2.53 + 1.22FL - 2.61PCO^2$$

En el caso de los líquidos,

$$klt = 5.35 + 2.18FL - 3.71PCO^2$$

Cuando los animales consumen forrajes, la tasa de paso va a depender de la necesidad de masticación, siendo menor para los alimentos que necesiten más masticación.

Una vez que Sauvant y Noziere (2016) obtuvieron estas ecuaciones para las diferentes tasas de paso, y teniendo también en cuenta la tasa de degradación (kd), se confeccionó una ecuación para estimar la degradabilidad efectiva (DE) de las proteínas y del almidón:

$$DE = a \left( \frac{100}{100 + klt} \right) + b \left( \frac{kd}{kd + kpt} \right)$$

Donde  $a$  representa la fracción rápidamente degradable, que sale del rumen con la fracción líquida a una tasa  $klt$ , y para la que se asume una tasa de degradación del 100%/h, y  $b$  representa la fracción no soluble pero potencialmente degradable, que se ve afectada por la tasa de degradación  $kd$ , estimada *in sacco*, y las tasas de salida  $kft$  y  $kct$ .

*Balance proteico en el rumen (RPB):*

El balance proteico en el rumen se calcula restando a la proteína bruta ingerida (PB) la proteína bruta no amoniacial que llega al duodeno:

$$RPB = PB - (RUP + PMic + PEndo),$$

que se puede simplificar en:

$$RPB = RDP - PMic - PEndo,$$

donde RDP es la proteína degradada en rumen, PMic la proteína de origen microbiano y Pendo la de origen endógeno.

Este nuevo concepto es interesante, ya que nos permite evaluar el equilibrio que existe entre el nitrógeno degradable y la energía disponible en rumen, además de poder integrar los efectos de la interacción entre energía y proteína, la digestión de la materia orgánica y el crecimiento de los microorganismos. Igualmente puede utilizarse para predecir las pérdidas de nitrógeno a través de la orina (Sauvant y Noziere, 2016).

### *Interacciones digestivas:*

Es conocido que en el rumen se producen una serie de interacciones digestivas que van a ser las responsables de que los valores de los alimentos no sean aditivos. En el nuevo sistema Systool, estas interacciones digestivas se incorporan de la siguiente manera:

$$FV_r = \sum i (FV_i * P_i) \pm DI,$$

Donde  $FV_r$  es el valor de la ración,  $FV_i$  el valor de cada alimento individual,  $P_i$  la proporción de cada alimento en la ración y  $DI$  las interacciones digestivas que se producen.

Los dos principales problemas que presentan las interacciones digestivas son:

- Identificar cuáles son los principales factores que intervienen.
- Cuantificar sus efectos.

Estas interacciones que se producen en el rumen ya se tenían en cuenta en el anterior sistema INRAtion4.0 para las vacas lecheras, y lo que se hacía era corregir el valor de la energía neta de la ración (Sauvant y Noziere, 2016). Sin embargo, en el nuevo sistema se tiene en cuenta la digestibilidad de la materia orgánica, ya que de ésta va a depender la energía neta y el aporte de proteína microbiana. Además, es un factor que se puede medir con facilidad, tanto *in vivo* como a partir de la composición de los alimentos (Sauvant y Noziere, 2016).

Usando la base de datos Bovidig, Sauvant y Noziere (2016) llegaron a la conclusión de que las interacciones digestivas que más afectan a la digestibilidad de la materia orgánica son las siguientes:

- Aumento de la tasa de paso de la ingesta, que provoca una reducción en la disponibilidad de sustratos para los microorganismos, cuando aumenta el nivel de ingestión.
- Una disminución del pH, que inhibe a la flora celulolítica, cuando aumenta la proporción de concentrado en la ración.
- Cambios en la actividad microbiana dependiendo de la disponibilidad de nitrógeno degradable.

En el nuevo sistema, las interacciones digestivas que afectan a la digestibilidad de la materia orgánica de una ración ( $\Delta OM_d$ ) son función de la digestibilidad de la materia orgánica de cada alimento individual ( $OM_d_i$ ), la proporción de materia orgánica de cada alimento

individual ( $POM_i$ ), y la digestibilidad de la materia orgánica de la ración medida *in vivo* ( $OMdm$ ):

$$\Delta OMd = \left( \sum i (OMd_i * POM_i) \right) - OMdm$$

*Efectos de las proporciones de forraje y de concentrado en la ración, y del balance proteico ruminal, en las interacciones digestivas:*

Sauvant y Noziere (2016) también han estudiado los efectos que van a tener las proporciones de forraje y de concentrado en la ración, y el balance proteico ruminal, en las interacciones digestivas, comparando la digestibilidad de la materia orgánica de las tablas INRA con la digestibilidad de la materia orgánica de la ración calculada *in vivo*. Los efectos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Efectos del forraje:

- Cuando se incrementa la ingestión de forraje se produce un aumento en la tasa de paso del alimento.
- Las interacciones digestivas dependerán del nivel de ingestión del forraje y del nivel de ingestión *ad libitum* de un forraje de referencia, medido en carneros castrados de la raza Texel:

$$\Delta OMd(F) = 2.74(FL - FLref)$$

Donde  $\Delta OMd(F)$  son las interacciones digestivas que afectan a la digestibilidad de la materia orgánica del forraje, FL el nivel de ingestión del forraje y FLref el nivel de ingestión del forraje de referencia.

Efectos del concentrado:

- Si se asume que los valores de la materia orgánica digestible de las tablas son aditivos, se produce una sobrevaloración de la digestibilidad de la materia orgánica de la ración cuando la proporción de concentrado es elevada.
- En este caso, el efecto de las interacciones digestivas sobre la digestibilidad de la materia orgánica del concentrado dependerán, exclusivamente, de la proporción de éste en la ración.

$$\Delta OMd(C) = 6.5 / (1 + (\frac{0.35}{PCO})^3)$$

Donde  $\Delta OMd(C)$  son las interacciones digestivas que afectan a la digestibilidad de la materia orgánica del concentrado, y PCO la proporción de concentrado en la ración.

Efectos del balance de proteína ruminal:

- En dietas en las que el balance proteico es negativo ( $<0$ ) se produce una sobreestimación de la digestibilidad de la materia orgánica con respecto a los valores de las tablas INRA considerados de forma aditiva.
- En dietas en las que el balance proteico es positivo ( $>0$ ) se produce una subestimación de la digestibilidad de la materia orgánica con respecto a los valores de las tablas INRA considerados de forma aditiva.

#### *Materia orgánica fermentada en rumen: MOF*

En los sistemas de alimentación cada vez va a ser más importante conocer la materia orgánica digerida en el rumen, ya que de ésta va a depender la producción de proteína microbiana, el aporte de ácidos grasos volátiles al animal, y también las pérdidas de energía en forma de metano (Sauvant y Noziere, 2016).

En la versión anterior se tenía en cuenta la materia orgánica digestible en el tracto gastrointestinal como el principal componente de la energía neta, y en ésta la materia orgánica fermentable por los microorganismos del rumen (MOF) se calculaba restando a la materia orgánica digerida (MOD) la materia orgánica digerida no fermentada en el rumen, que va a estar formada por los productos de fermentación del ensilado, la grasa bruta y la proteína bruta no degradada (Sauvant y Noziere, 2016).

En la nueva versión, para calcular la MOF se mantiene el principio de restar a la MOD la fracción de la misma no fermentable:

$$MOF = MOD - MODint - PF$$

Donde MODint es la materia orgánica digerida en el intestino, que se obtiene por diferencia entre el flujo de materia orgánica al duodeno y la excreción de materia orgánica en las heces, y PF los productos de fermentación del ensilado.

### *Perdidas de energía en forma de metano y orina:*

En el proyecto Systali se mantiene el cálculo de la energía bruta y de la digestibilidad de la energía; sin embargo, se ha actualizado el cálculo de las pérdidas que se producen en forma de metano y de orina.

#### *Pérdidas en forma de metano:*

El principal factor que va a afectar a estas pérdidas es la digestibilidad de la materia orgánica, aunque también se van a ver afectadas por otros factores como las interacciones digestivas que van a depender de los niveles de forraje y la proporción de concentrado en la ración (Sauvant y Giger-Reverdin, 2009)

Gracias a medidas calorimétricas se ha mejorado el cálculo tanto de las pérdidas de metano como de la materia orgánica digestible. Para expresar esta pérdida se hace en forma de ratio entre las pérdidas de metano y la MOD:

$$\frac{CH_4}{MOD} = 45.42 - 6.66FL + 0.75FL^2 + 19.65PCO - 35PCO^2 - 2.69FL * PCO$$

Que depende del nivel de ingestión del forraje (FL) y de la proporción de concentrado (PCO) de la dieta (Sauvant y Noziere, 2016). Para dietas con una ingestión de materia seca alta, y una elevada proporción de concentrado, las pérdidas de energía en forma de metano son menores, debido a que se producen más interacciones digestivas con la digestibilidad de la materia orgánica (Sauvant y Noziere, 2016).

#### *Pérdidas en forma de orina (UE):*

En este caso, las pérdidas se expresan como porcentaje de la energía bruta (EB), y dependen también del nivel de ingestión del forraje (FL) y de la proporción de concentrado (PCO), pero también de la proteína bruta (PB) de la ración:

$$UE(\%EB) = 2.9 + 0.017PB - 0.47FL - 1.64PCO$$

Tras estudiar las pérdidas que se producen en forma de metano y orina, Sauvant y Noziere (2016) observaron que las pérdidas eran menores conforme aumentaba el nivel de ingestión.

En la comparación del sistema actual con el anterior, Sauvant y Noziere (2016) concluyeron que cuando se usaban las nuevas ecuaciones para calcular la energía

metabolizable el valor de ésta se reducía una media de un 5.8%, debido a que el sistema anterior no tenía en cuenta las interacciones digestivas.

*Producción de proteína microbiana:*

Determinar la producción de proteína microbiana es un punto crítico de los sistemas de alimentación debido a la poca fiabilidad de las medidas, y a que es complicado establecer cuáles son las fuentes de variación.

En el modelo anterior se asumía un valor constante para la producción de proteína microbiana, primero de 120g/kg de MOD y luego de 145g/kg de MOF, pero estos valores representan una media que no tiene en cuenta diferentes factores que pueden afectar al crecimiento microbiano (Sauvant y Noziere, 2016). En este sentido, Sauvant y Noziere (2016) sugieren la integración de una serie de factores clave, cuyos efectos se han demostrado de forma experimental, para obtener valores más precisos. Lo que no se tiene en cuenta en el nuevo sistema, sin embargo, es la transferencia de ATP de la MOF a los microorganismos, ya que esta inclusión complicaría el cálculo de la proteína microbiana producida sin asegurar un aumento de la precisión.

*Factores de variación en la producción de proteína microbiana:*

En el proyecto Systali se considera que el principal factor de variación del crecimiento microbiano, medido como proteína microbiana (PBMic), es la materia orgánica digerida (MOtDR) en el rumen, y para conocer su efecto se propone una fórmula obtenida usando la base de datos Bovidig (Sauvant y Noziere, 2016):

$$PBMic = 45.2 + 73.31 * 10^{-3} MOtDR$$

La pendiente de la ecuación es aproximadamente la mitad del valor utilizado en el sistema anterior del INRA, que asumía una producción de proteína constante por unidad de MOF. Esta asunción provoca una subestimación de la producción de proteína microbiana con dietas con un nivel bajo de MOF, y una sobreestimación cuando el nivel de MOF es elevado. Un pH más adecuado en el rumen o un mejor reciclaje de nitrógeno en dietas con bajo contenido en MOF pueden ser la razón de la discrepancia entre los dos sistemas.

## **JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **Justificación:**

Para alcanzar el máximo rendimiento productivo de los animales es necesario administrar raciones completas que aporten todos los nutrientes necesarios, garantizando la óptima producción, el bienestar animal y la calidad del producto, en este caso la leche. Para ello es necesario trabajar con programas informáticos cuya correcta elección es fundamental, ya que deben incorporar los últimos avances en nutrición animal. En España, el sistema de racionamiento de vacas lecheras más difundido es el INRA francés, cuya actualización está prevista para este año 2017. Sus autores han puesto a disposición de un reducido número de miembros de la comunidad científica la herramienta Systool, con el objetivo de recabar información que permita comparar los resultados obtenidos con los de la versión anterior del sistema. Esta labor de comparación es importante, ya que nos permitirá comprobar la importancia de las interacciones digestivas sobre la alimentación de los rumiantes, que es uno de los principios del nuevo proyecto Systali.

### **Objetivos:**

- Acercamiento al proyecto Systali mediante el uso de la aplicación web Systool.
- Conocer las diferencias entre la versión antigua del sistema francés, INRAtion, y la versión nueva, Systali.
- Indicar las ventajas o inconvenientes que puede tener el trabajar con la nueva versión del sistema.

## **METODOLOGÍA**

Para trabajar con la actualización del sistema, desde la sede del INRA en París se proporciona un código de acceso a través de la página web Systool, que permite realizar raciones con el nuevo sistema. Los resultados se compararán con los obtenidos con la herramienta antigua, INRAtion 4.0, cuya licencia tiene adquirida la Universidad de Zaragoza. Dada la importancia económica del sector vacuno lechero en el producto final agrario, este será nuestro animal diana.

### **Versión antigua del sistema (INRAtion 4.0):**

Con esta herramienta pueden obtenerse las necesidades de la vaca en función de las características establecidas por el usuario:

- Vacas en lactación o secas.
- Edad del animal.
- Peso y condición corporal.
- Producción de leche en el pico de lactación.
- Contenido en grasa y proteína de la leche.

El programa también permite elegir los alimentos que entrarán en la ración, que podrán ser de la base de datos del INRA o de la del usuario, y también si se administrarán *ad libitum* (es obligatorio que uno de los forrajes se suministre de esta forma) o de forma restringida. También es posible que el programa elabore la mezcla idónea para cubrir las necesidades del animal a partir de los ingredientes elegidos. En este caso, se formula un pienso teórico cuya concentración en nutrientes se calcula descontando de las necesidades del animal la cantidad aportada por el forraje. Por razones que no se conocen, la formulación del pienso con la herramienta INRAtion 4.0 no siempre es correcta, por lo que en nuestro caso hemos decidido utilizar el programa de acceso libre WinFeed 2.8 para este fin.

### **Nueva versión del sistema (Systool):**

Como ya se ha indicado, y dado que todavía no se ha comercializado la herramienta informática de racionamiento como tal, desde la sede parisina del INRA se proporciona un código de acceso a una página web denominada Systool, que permite realizar raciones basadas en las especificaciones del nuevo sistema.

El funcionamiento de Systool es algo diferente al de INRAtion 4.0, ya que lo que hace es proporcionarnos la información nutricional de una ración previamente elaborada, mientras

que el INRA4.0 es capaz de formular la ración con los ingredientes que deseemos. Por ello, las raciones evaluadas con Systool han sido previamente elaboradas con INRA4.0. Para obtener el valor nutritivo de la ración deseada debemos proporcionar la información en forma de archivos Excel; para ello, el programa nos permite descargar ejemplos de cada archivo, que se podrán usar como plantillas para realizar otras raciones. La información que debemos introducir en las plantillas Excel hace referencia a:

- Tipo de ración que vamos a formular, siendo necesario definir el tipo de animal (vaca de leche, ovino, etc.), el peso vivo del animal, la materia seca ingerida (en kg/día) y también si la ración se complementa con urea o no. En el caso de la materia seca ingerida, los valores han de obtenerse, necesariamente, a partir de INRA4.0. Un ejemplo de los ficheros Excel se presenta en la Tabla 1

**Tabla 1:** Ejemplo de fichero Excel de animales a proporcionar en la herramienta Systool.

RACIÓN	TIPO ANIMAL	PV (peso vivo)	MSI (materia seca ingerida)	UREA
1	VL (vaca lechera)	650	20	0
2	VL	650	25	1
3	OV (ovino)	60	2.8	0
4	BO (bovino de carne)	450	10	0
5	CH(caprino)	60	1	0

- Alimentos que se van utilizar: en este Excel (Tabla 2) deberemos relacionar cada alimento con la ración en la que se va a utilizar, indicándolo en la primera columna. A continuación se indica la base de datos que contiene a cada alimento (si es de la base del INRA o si por el contrario es un alimento de nuestra propia base de datos), su código, el porcentaje del alimento en la ración, expresado como porcentaje de materia seca, y por último se indica si el alimento forma parte de una mezcla o no y en qué proporción (si no forma parte de una mezcla se indica con un 1). En el caso de que dos alimentos formen parte de un mezcla, en el porcentaje de cada uno sobre el total de la ración se pone el de la mezcla, y a continuación la proporción de cada uno en la mezcla.

**Tabla 2:** Ejemplo de fichero Excel de alimentos a proporcionar en la herramienta Systool.

RACION	FUENTE	CODIGO	PORCENTAJE	MEZCLA
1	INRA	FE4710	60	0.6
1	INRA	FE4720	60	0.4
1	INRA	FF0070	40	1
2	INRA	FR0120	40	1
2	INRA	FE4710	20	1

- Alimentos del usuario: es un archivo opcional por si queremos usar una base de datos propia en vez de la del INRA. Si se opta por esta elección deben identificarse todos los alimentos con el código que elijamos, aunque siempre deberá empezar por la U. A continuación ha de indicarse el nombre y tipo de alimento (cereal, suplemento proteico, mineral, etc.), y todas sus características nutricionales y contenido en energía, proteína, minerales, etc.). En el presente trabajo se utilizó la base de datos del INRA dada la enorme dificultad de encontrar otras bases de datos que ofrecieran valores de todas las variables exigidas por Systool

Una vez que se han subido estos archivos Excel con toda la información necesaria a la web de Systool el programa nos devuelve una serie de archivos, también en formato Excel, para cuya lectura es necesario utilizar el programa informático gratuito Libre Office, ya que la lectura con el programa Excel da unidades erróneas a día de hoy. Estos archivos incluyen información tanto de lo que aportan los alimentos individuales al formar parte de una ración determinada como de lo que proporciona el conjunto de la ración, recibiendo un nombre diferente en cada caso. El prefijo nos indicará si la información es de los alimentos (A) o de la ración (R). Por su parte, los sufijos "T7" y "TS" nos indicarán si la información se ha obtenido usando las tablas de 2007 o las tablas Systali. También aparece el sufijo "RS" cuando los datos se correspondan con el valor Systali de la ración.

Los archivos que van a formar la respuesta del programa son:

- Aliment: se corresponde con el archivo que hemos subido nosotros, en el que se incluyen los alimentos utilizados, su porcentaje en la ración y si forman parte de una mezcla.

- Ration: este archivo, igual que el anterior, es uno de los dos que subimos nosotros a Systool. Este archivo nos dice el tipo de animal, su peso vivo, la ingestión de materia seca y si se añade urea a la ración.

- A\_output: este archivo ya es una de las respuestas propiamente dichas del programa, y en él se incluyen las características de los alimentos utilizados, tanto las del modelo de 2007 como las de las tablas Systali. En este Excel se recogen también los archivos AT7 y ATS.

- ARS: nos informa de las características de cada uno de los alimentos dentro de la ración, incluyendo las tasas de paso y su digestibilidad.

- AT7: en este archivo se encuentran las características de los alimentos utilizados según los valores de 2007. Estos datos también se encuentran incluidos en el fichero A\_output.

-ATS: en este archivo también vamos a encontrar las características de los alimentos, pero esta vez según los valores de las tablas Systali. Al igual que el anterior, éste también lo podemos encontrar dentro del archivo A\_output.

-R\_output: este es otro archivo importante, que nos va a dar las características de la ración con la que estamos trabajando. Al igual que el A\_output, este archivo también nos va a dar las características según los valores de 2007 y los de Systali.

- RNU: en este archivo Excel lo que vamos a encontrar van a ser los datos sobre los nutrientes proporcionados por la ración según el nuevo modelo.

-RRS: da el valor Systali de la ración. Se diferencia del RNU en que nos informa de las características (energía, FND, proteína etc.) de la ración, mientras que RNU solo nos informa sobre los ácidos grasos que aporta y sobre los nutrientes de la ración que se absorben.

-RT7: es similar al AT7, pero con la diferencia de que en éste las características que nos dan van a ser de la ración. Se diferencia de RNU y RRS en que este archivo nos da el valor según el criterio del modelo de 2007.

-RTS: en este archivo Systool nos da información sobre el valor de la ración con las tablas Systali.

En las Figuras 1 y 2 se muestra la relación entre los diferentes archivos y como se obtiene cada uno.

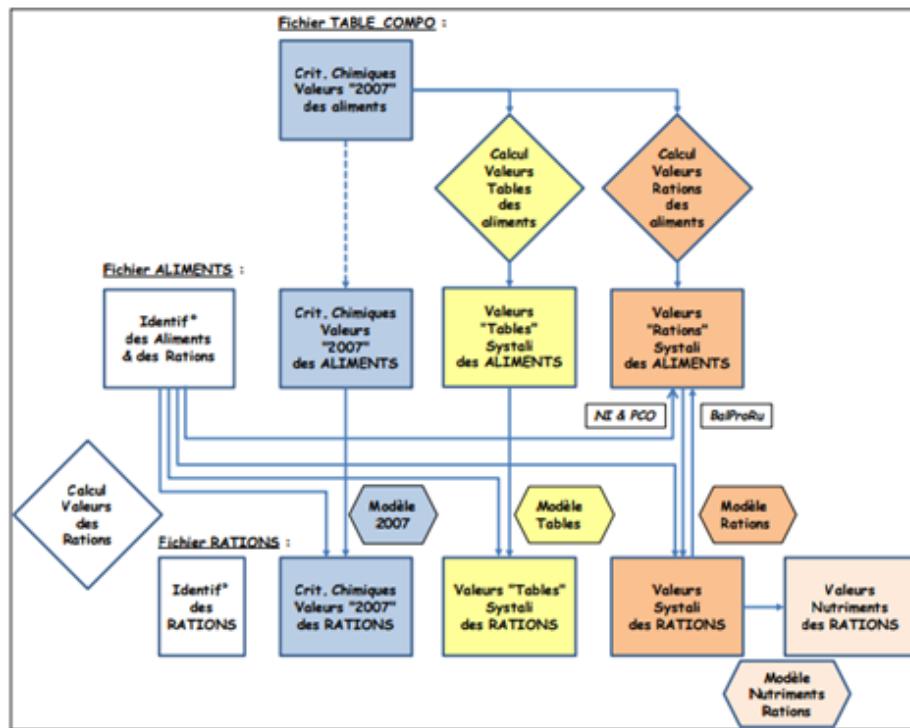


Figura 1: modelo del cálculo de Systool

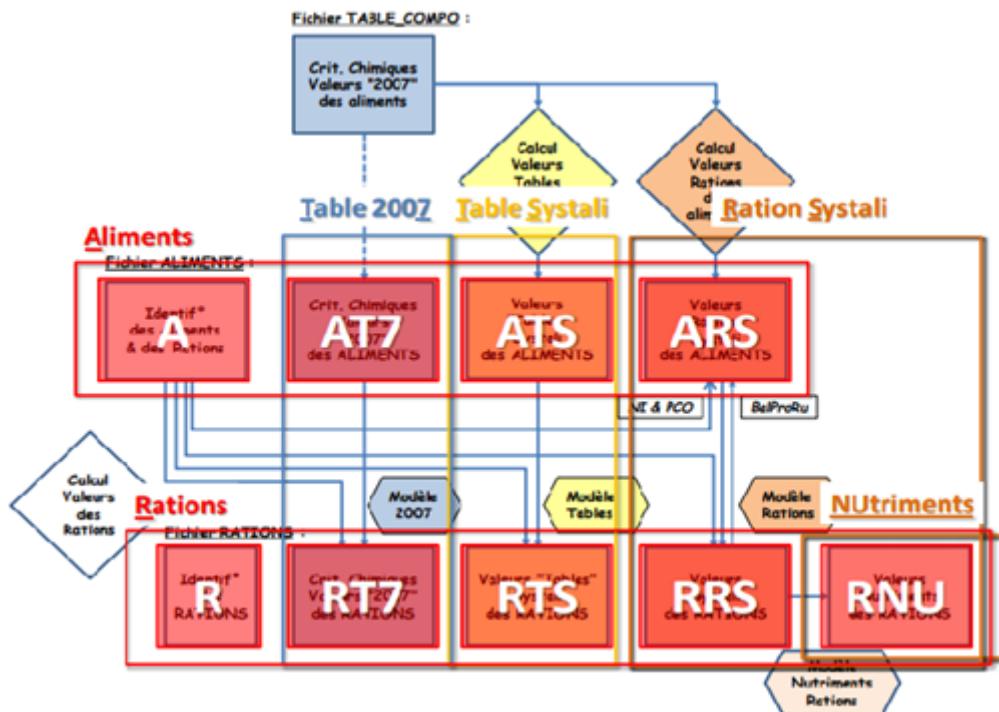


Figura 2: Relación entre los diferentes archivos de Systool.

### Comparación entre los dos programas:

Debido a la gran cantidad de variables que se pueden utilizar en la valoración de raciones, en el presente trabajo nos centraremos en los dos más importantes, energía y proteína. Para poder comparar la valoración de la primera se utilizan las UFL (unidades forrajeras leche), que son las unidades que utiliza el sistema francés de valoración nutritiva para rumiantes. Para la segunda característica se utilizan los valores de PDIE y PDIN, ya definidos anteriormente.

A la hora de valorar si en la práctica existen diferencias entre el INRAtion y el modelo usado por Systool se han elaborado varias raciones con diferentes propósitos: en primer lugar se ha realizado una ración compuesta únicamente por forrajes, ensilado de maíz y ensilado de hierba, con el objetivo de discernir si existen diferencias en cómo valora los forrajes cada uno de los sistemas. A continuación se formuló un pienso con los datos obtenidos con cada valoración de los forrajes utilizando el programa de formulación gratuita WinFeed 2.8 por las razones ya expuestas.

Como también se ha indicado, las necesidades de las vacas han sido obtenidas con el programa INRAtion 4.0, dado que la actualización de éstas aún no ha sido incorporada en Systool. La fase productiva elegida ha sido la semana 12 de lactación, momento en el que las vacas ya pueden cubrir sus necesidades con el alimento consumido, y no es necesaria la movilización de reservas corporales.

A continuación, a estas necesidades se le restó lo aportado por los forrajes, tanto según la valoración del INRAtion como del Systool, obteniendo así las características que debían tener dos piensos diferentes, ambos con una concentración energética de 1,05 UFL por kilogramo de materia seca.

Las necesidades diarias de una vaca lechera en la semana doce de lactación se establecen en 21,55 UFL, y 2276 g de PDIN y PDIE, con una capacidad de ingestión de 24,51 kg de materia seca (Sauvant *et al.*, 2007).

En un paso posterior se valoraron las siguientes raciones formuladas incluyendo el forraje y el concentrado:

- Una primera ración formada por cada uno de los forrajes anteriores más grano de maíz y harina de soja 48. Se usó para ver la diferencia de valoración que hace Systool entre una ración formada solo por forrajes y una formada por forraje y concentrado.

- Dos raciones pensadas para una alimentación por lotes del ganado en función de la semana de lactación (semanas 28 y 44, además de la ya citada semana 12). Estuvieron formadas por ensilado de maíz y por un pienso a base de trigo, gluten feed, soja 47, carbonato cálcico y pulpa de remolacha.

En primer lugar se obtuvieron las diferentes raciones con INRAtion 4.0, formulándose el pienso con WinFeed2.8, para posteriormente poder introducir esta información en el programa Systool.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comparación de las raciones basadas en forrajes:

En la Tabla 3 se indican las características de una ración a base de ensilados de hierba y de maíz elaborada con INRAtion 4.0, mientras que en la Tabla 4 se dan los datos obtenidos con Systool.

**Tabla 3:**Valoración de la ración a base de forrajes utilizando INRAtion 4.0

	DMI	UFL	PDIN	PDIE
ENSILADO DE HIERBA	6.5	5.53	624	488
ENSILADO DE MAÍZ	6.5	5.85	273	423
TOTAL RACIÓN	13	11.38	897	911

**Tabla 4:**Valoración de la ración a base de forrajes utilizando Systool.

	DMI	UFL	PDIN	PDIE
SILO HIERBA	6.5	5.61	669.17	484.05
SILO MAÍZ	6.5	6.01	294.64	399.75
TOTAL RACIÓN	13	11.62	963.82	883.74

Como se puede observar, la nueva herramienta da un valor de energía de los forrajes algo más alta que la antigua. Lo mismo ocurre con la PDIN pero no con la PDIE.

Las tablas 5 y 6 muestran las características que han de tener los piensos necesarios para cubrir las necesidades de una vaca lechera en la 12<sup>a</sup> semana de lactación.

**Tabla 5:** Características del pienso necesario para cubrir las necesidades de una vaca lechera en la 12<sup>a</sup> semana de lactación según INRAtion4.0.

	UFL	PDIN	PDIE
NECESIDADES	21.55	2276	2276
FORRAJE aporta	11.38	897	911
PIENSO (1,05 UFL)	10.17	1379	1365

**Tabla 6:** Características del pienso necesario para cubrir las necesidades de una vaca lechera en la 12<sup>a</sup> semana de lactación según Systool.

	UFL	PDIN	PDIE
NECESIDADES	21.55	2276	2276
FORRAJE aporta	11.62	963.82	883.74
PIENSO (1,05 UFL)	9.93	1312.18	1392.26

Las raciones finales a administrar a las vacas en la 12<sup>a</sup> semana de lactación estuvieron compuestas por:

- Usando el INRATION4.0, la ración resultante fue de 6.5 kg de ensilado de hierba y otros 6.5kg de ensilado de maíz, y además 9.68 kg de pienso con 1.05 UFL por kg, un 14.1% de PDIE y un 14.24% de PDIN.
- Usando Systool la ración se diferenció de la anterior en la cantidad de pienso, 9.45 kg, y en su concentración de PDIE y PDIN, que fue de un 14.73% y de un 13.88%, respectivamente.

Por lo que se refiere al coste del pienso formulado, éste fue de 203,82 euros/tonelada con INRATION4.0, y de 218,6 euros/tonelada con Systool. Esta diferencia se debe a que este último pienso tiene una concentración proteica mayor que el primero, lo que implica la necesidad de utilizar fuentes proteicas de alto precio. Considerando una producción de 36 litros de leche/vaca, y un precio de la leche de 0,3 euros al productor, por cada euro que recibe el ganadero por la venta de la leche habrá tenido que invertir 0,1824 euros en alimentación según INRATION 4.0, y 0.1912 euros según Systool. En una ganadería con 300 vacas la diferencia supone 28.5 euros/día (10402,5 euros/año).

#### **Comparación de raciones completas:**

En las Tablas 7 y 8 se muestra la composición de las raciones completas, formuladas con ensilados de hierba y de maíz, grano de maíz y harina de soja 48, obtenidas utilizando INRATION 4.0 o Systool para vacas en la 12<sup>a</sup> semana de lactación.

**Tabla 7:** Valoración de los alimentos y de la ración para una vaca en 12<sup>a</sup> semana de lactación según INRAtion 4.0.

	DMI (kg.)	UFL	PDIN (g.)	PDIE (g.)
ENSILADO DE HIERBA	6	5.1	576	450
ENSILADO DE MAÍZ	6	5.4	252	390
GRANO DE MAÍZ	6	7.32	444	582
HARINA DE SOJA 48	2.6	3.15	980	679
TOTAL RACIÓN	20.6	20.97	2252	2101

**Tabla 8:** Valoración de los alimentos y de la ración para una vaca en 12<sup>a</sup> semana de lactación según Systool.

	DMI (Kg.)	UFL	PDIN (g.)	PDIE (g.)
ENSILADO DE HIERBA	6	4.74	620.22	448.38
ENSILADO DE MAÍZ	6	5.1	272.58	359.22
GRANO DE MAÍZ	6	7.02	445.5	586.62
HARINA DE SOJA 48	2.6	2.886	1026.48	647.76
TOTAL RACIÓN	20.6	19.77	2365.29	2042.28

De la comparación de las tablas 7 y 8 se puede observar que con la nueva versión del sistema los valores de la energía y de PDIE son menores, aunque los de PDIN son mayores que los obtenidos con INRAtion 4.0.

#### Comparación de raciones según la semana de lactación:

En las Tablas 9, 10 y 11 se muestran las necesidades diarias de las vacas en las semanas 12, 28 y 44 de lactación, respectivamente, según INRAtion 4.0 y Systool. Es necesario señalar que la última versión de Systool, difundida a los usuarios a mediados de agosto de este mismo año, ya es posible estimar las necesidades de los animales, y no se dan valores de PDIN por una serie de razones. Dada la premura de tiempo, se ha decidido no reelaborar las Tablas anteriores de este trabajo con la nueva versión del sistema

**Tabla 9:** Necesidades diarias de una vaca lechera en la 12<sup>a</sup> semana de lactación según INRAtion 4.0 o Systool.

	UFL	PDIN	PDIE
INRAtion 4.0	21.55	2276	2276
SYSTOOL	21.6		2157

**Tabla 10:** Necesidades diarias de una vaca lechera en la 28<sup>a</sup> semana de lactación según INRAtion 4.0 o Systool.

	UFL	PDIN	PDIE
INRAtion 4.0	19.27	1786	1782
SYSTOOL	18.24		1677.5

**Tabla 11:** Necesidades diarias de una vaca lechera en la 44<sup>a</sup> semana de lactación según INRAtion 4.0 o Systool.

	UFL	PDIN	PDIE
INRAtion 4.0	13.47	1145	1145
SYSTOOL	13.37		1081.39

Es de destacar que para la semana 12 de lactación la valoración de Systool para la energía es ligeramente mayor (0.05 UFL) que la de INRAtion 4.0, ocurriendo lo contrario en las semanas 28 y 44.

#### Comparación de la valoración de Systool de forrajes solos o dentro de una ración:

Para esta comparación se han utilizado las valoraciones realizadas anteriormente para la ración de solo forrajes y para la formada por ensilado de maíz, ensilado de rye-grass, grano de maíz y harina de soja 48.

En las tablas 12 y 13 se muestran las diferentes valoraciones que hace Systool del ensilado de rye-grass y de maíz, respectivamente, cuando se administran solos o mezclados con concentrado

**Tabla 12:** Valor del ensilado de rye-grass cuando se administra solo o en una mezcla con concentrado.

	UFL/kg	PDIN g/kg	PDIE g/kg
SOLO	0.86	102.95	74.47
EN MEZCLA	0.79	103.37	74.73

**Tabla 13:** Valor del ensilado de maíz cuando se administra solo o en una mezcla con concentrado.

	UFL /kg	PDIN g/kg	PDIE g/kg
SOLO	0.92	45.33	61.5
EN MEZCLA	0.85	45.43	59.87

En ambos casos la valoración de la energía aportada por el forraje cuando forma parte de una mezcla es menor que cuando se administra solo. En el caso del ensilado de rye-grass la PDIN y la PDIE son algo mayores al valorarlos dentro de una ración, mientras que para el ensilado de maíz en mezcla con concentrados los valores de PDIE y de energía son menores que para el forraje solo, mientras que la PDIN es algo mayor.

En la tabla 14 observamos que las tasas de paso son mayores cuando los forrajes se suministran con alimentos de tipo concentrado, como son el grano de maíz y la harina de soja.

**Tabla 14:** Comparación de las diferentes tasas de paso de forrajes cuando se suministran solos o con concentrado.

	KFT	KCT	KLT	KPT
SOLO FORRAJES	3.78	4.97	9.71	3.78
FORRAJES + CONCENTRADO	4.37	6.09	11.88	5.09

KFT: ritmo de paso del forraje; KCT: ritmo de paso del concentrado; KLT: ritmo de paso de la fracción líquida de la digesta; KPT: ritmo de paso de la fracción particulada de la digesta.

Por último, la digestibilidad de la materia orgánica de los ensilados de rye-grass y de maíz aportados solos o mezclados con concentrado (Tabla 15).

**Tabla 15:** Digestibilidad de la materia orgánica de los ensilados de rye-grass y de maíz aportados solos o mezclados con concentrado

	DIGESTIBILIDAD MATERIA ORGÁNICA	
	SOLO FORRAJE	FORRAJE+CONCENTRADO
ENSILADO RYE-GRASS	68.23	61.49
ENSILADO MAÍZ	69.88	63.13

## CONCLUSIONES

### Comparación entre INRAtion y Systool:

Cuando usamos los dos programas para comparar los mismos forrajes con el nuevo sistema se da un valor mayor a la energía y a la PDIN, pero que la PDIE baje. El hecho de que con Systool la energía sea mayor se debe a la modificación de las tasas de paso. La PDIN también es mayor con el modelo nuevo por la nueva forma de valorar la síntesis de proteína microbiana.

Cuando con los dos programas comparamos raciones completas el valor que nos da el Systool de la energía y de la PDIE es menor que con el INRAtion, pero la PDIN es mayor. El que la energía sea menor con el nuevo sistema se debe a que éste va a tener en cuenta las pérdidas de energía en forma de metano y de orina, y que tiene en cuenta la proporción de concentrado y forraje a la hora de establecer las tasas de paso. La PDIE es menor porque al tener la ración menos energía ésta se volverá limitante antes para la síntesis de proteína microbiana. La PDIN es mayor por la misma razón que en elconclusión anterior: la nueva forma de calcular la proteína microbiana.

### Comparación de la valoración hecha por Systool de forrajes solos o con concentrado.

El hecho de que los forrajes en mezcla aporten menos energía y PDIE pero más PDIN que cuando se administran solos se debe al aumento de la tasa de paso como consecuencia del efecto del concentrado, lo que hace que disminuya la digestibilidad de la materia orgánica.

## CONCLUSIONS

### Comparison between INRAtion and Systool:

With the same forages Systool gives a higher energy and PDIN, and less PDIE than INRAtion 4.0. The energy is higher because of the change in the fractional passage rate of the intake, whereas PDIN is higher because the new system changes the way to calculate the microbial protein synthesis.

When mixed rations are compared Systool gives lower energy and PDIE values but higher PDIN values. The difference in energy values is due to the fact that the new program considers the energy losses as methane and urine, the proportion of concentrate and the fractional passage rates. Lower PDIE values are logical as energy would be the limiting factor for microbial protein synthesis. On the other hand, PDIN values are higher because of the new way to calculate microbial protein synthesis.

### Comparison of the Systool value for forages given alone or mixed with concentrates:

The fact that forages in mixed rations give less energy and PDIE but more PDIN than when they are given alone is due to an increase in the fractional passage rate as a consequence of the presence of concentrates, and hence a decrease in organic matter digestibility.

## **VALORACIÓN PERSONAL**

Este trabajo ha cumplido mis expectativas, a pesar de las dificultades que se han presentado, ya que me ha servido para empezar a conocer la nueva actualización del INRAtion, que será uno de los programas que se usarán durante los próximos años en la alimentación de rumiantes.

También me ha servido para conocer la dirección que probablemente tomen otros sistemas de alimentación, teniendo en cuenta factores que hasta esta actualización no se consideraban, como por ejemplo la diferencia en las tasas de paso entre partículas de forraje y de concentrado.

Quisiera agradecer la ayuda que he recibido en la realización de este trabajo por parte de mi tutor, Antonio de Vega, y también de Juan Carlos Iriarte, veterinario del INTIA.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Sauvant, D., Noziere, P. (2016). Quantification of the main digestive processes in ruminants: the equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems. *Animal*, **10**: 755-770.

Schmidely, P., Glasser, F., Doreau, M., auvant, D. (2008). Digestion of fatty acids in ruminants: a meta-analysis of flows and variation factors. 1. Total fatty acids. *Animal*, **2**: 677-690

Sauvant D and Giger-Reverdin S 2009. Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. INRA Productions Animales 22, 375–384.

Sauvant D, Giger-Reverdin S and Meschy F 2007. Alimentation des caprins. In Alimentation des bovins, ovins et caprins – Besoins des animaux – Valeurs des Aliments – Tables INRA 2007, mise à jour 2010. pp. 139–152. Editions Quae, Versailles, France.