

Recibido 04 de junio de 2015 // Aceptado 14 de julio de 2016 // Publicado online 30 de noviembre de 2016

# Modelación de la calidad nutritiva de pasturas defoliadas

INSÚA, J.R.<sup>1,2,3</sup>; AGNUSDEI, M.G.<sup>3</sup>; MACHADO, C.F.<sup>3</sup>; BERGER, H.<sup>3</sup>

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue desarrollar un modelo de simulación de calidad foliar de pasturas, de base morfogenética, para integrar el efecto de la edad y el largo foliar sobre la digestibilidad en relación con el manejo de la defoliación. El modelo se construyó y calibró con datos de morfogénesis foliar, fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad de la FDN (DFDN) y digestibilidad *in vitro* de láminas de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.). Luego se lo validó con datos observados en pasturas manejadas a dos alturas de forraje remanente con similar producción de biomasa. El modelo predijo adecuadamente la calidad nutritiva de las pasturas de diferente altura de remanente. Las variaciones en calidad durante el rebrote de pasturas vegetativas se debieron principalmente a los cambios de DFDN. Estos resultados indican que la consideración de la dinámica de DFDN en relación con la morfogénesis foliar permitiría mejorar la predicción de la calidad nutritiva en los modelos de pasturas.

**Palabras clave:** morfogénesis, altura de remanente, DFDN, edad foliar, largo de lámina, modelos de simulación.

## ABSTRACT

*The aim was to develop a simulation model of pasture quality dynamics on the basis of morphogenetic approach that takes into account the effects of leaf age and length on the forage digestibility in relation to management defoliation. The model was created by detailed data of tall fescue (*F. arundinacea*) leaf morphogenesis, and their NDF content and *in vitro* digestibility of NDF and DM (NDFD and DMD). The model was validated against observed data from two pasture regrowths differing in residual pasture height. The model simulated with reasonable accuracy the morphogenesis and leaf quality dynamics of pasture regrowth from different pasture residual height. The variations of leaf quality during regrowth of vegetative pasture were due to changes in NDFD. These results indicate that the variations of NDFD in relation to leaf morphogenesis allowed to improve the prediction of a pasture quality model.*

**Keywords:** morphogenesis, stubble height, NDFD, leaf age, leaf length, simulation model.

<sup>1</sup>Becario doctoral de CONICET.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Balcarce. Correo electrónico: insua.juan@inta.gov.ar

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Veterinarias, UNICEN, Tandil.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación biofísicos son una herramienta complementaria interesante para la investigación de campo (Bryant y Snow, 2008). Un aspecto crítico para la modelación de los sistemas pastoriles es la representación del crecimiento y calidad de las pasturas (Woodward y Rollo, 2002). Recientemente, Berger *et al.* (2014) reportaron un buen ajuste de las estimaciones a resultados experimentales de acumulación de biomasa aérea de pasturas de festuca alta bajo diferentes condiciones de crecimiento.

La mayoría de los modelos de crecimiento de pasturas basados en variables climáticas que generan estimaciones de calidad nutritiva utilizan parámetros indicadores de calidad nutritiva, tales como N, fibra detergente neutro (FDN) o digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), que acoplan directamente a la dinámica fenológica-productiva (Johnson *et al.*, 2008; McCall y Bishop-Hurley, 2003). Estudios recientes han demostrado que la digestibilidad de la FDN (DFDN) de las pasturas vegetativas decrece continuamente durante todo el rebrote posterior a una defoliación por corte o pastoreo. Esta caída de calidad no está simplemente relacionada con la biomasa que se acumula durante el rebrote, sino que también guarda estrecha asociación con la edad y el tamaño de las hojas que componen esa biomasa (Agnusdei *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013; Groot y Neuteboom, 1997; Insua *et al.*, 2012; 2013; 2014).

La modelación basada en este nuevo enfoque que integra el crecimiento y la morfología de las hojas con la calidad de las pasturas puede ser una herramienta útil para incorporar a los modelos existentes de crecimiento de pasturas, y de esta forma mejorar la comprensión de sus cambios de calidad, y así ayudar al diseño de nuevas estrategias de manejo de la defoliación. Esto no solo aportaría un respaldo mecánico y ecofisiológico a la estimación de la calidad del forraje, sino que también permitiría evaluar apropiadamente el efecto combinado del manejo del remanente de forraje pospastoreo y la frecuencia de defoliación (Chapman *et al.*, 2012; Insua *et al.*, 2014), e incluso su posterior impacto en la respuesta animal a través del consumo y de la calidad de la dieta. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de calidad nutritiva foliar de base morfofisiológica que estime las variaciones de digestibilidad durante el rebrote de pasturas vegetativas manejadas con diferente altura de remanente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ensayos

Los datos para la construcción y validación del modelo fueron obtenidos a partir de dos experimentos de festuca alta (*F. arundinacea* Schreb.) que se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce. Se sembraron "micro pasturas" (500 macetas de plástico de 20 x 40 cm) en la primavera del 2009 para las evaluaciones de los rebrotes de verano 2009/10 (Insua *et al.*, 2012), y en la primavera-verano del 2011 (Insua *et al.*, 2014). Las plantas crecieron al aire libre, sin limitantes hídricas

ni nutricionales. En ambos experimentos se evaluaron dos tratamientos: en el verano 2009/10 (desde el 8/12 al 5/3) se evaluaron dos cultivares de festuca alta continental (El Palenque Plus<sup>INTA</sup> y Grasslands Advance<sup>Gentos</sup>) mientras que en la primavera-verano 2011 (desde el 27/10 al 10/2) se evaluaron dos alturas de remanente (4 y 10 cm). Previo a cada período experimental, las plantas se cortaron 3 veces (cada ~20 días) a la altura correspondiente a cada tratamiento, de modo de generar estructuras de pasturas densas y foliosas con suficiente biomasa foliar remanente (>30% láminas) para garantizar un rápido crecimiento inicial del rebrote –ver Insua *et al.* (2012) e Insua *et al.* (2014) para más detalle–. En cada experimento se utilizaron 250 macetas por tratamiento dispuestas en un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con 3 repeticiones.

### Mediciones de campo

En ambos ensayos se marcaron 15 macollos por tratamiento para monitorear la morfogénesis foliar tres veces por semana. En cada macollo marcado se registró: tasa de elongación foliar (TEF), intervalo de aparición de hoja (IAH), número de hojas vivas por macollo (NHV) y vida media foliar (VMF). Paralelamente, se realizaron cosechas destructivas durante el período del rebrote, con una frecuencia establecida por el momento de aparición de las sucesivas hojas (ej. H1, H2, H3, H4). El material cosechado fue separado en lámina y vaina. En las láminas se determinó el contenido de FDN (Van Soest *et al.*, 1991), como así también la DFDN y DAMS por incubación *in vitro* a 24 h en el equipo Daisy<sup>II</sup> (ANKOM Corp., Fairport, NY, EE. UU.). La DAMS se calculó restando a la digestibilidad verdadera de la MS (DVMS) el factor metabólico 11,9 propuesto por Van Soest (1994).

### Descripción del modelo

Se desarrolló un modelo de calidad nutritiva de base morfofisiológica foliar para estimar las variaciones de DAMS de la población de macollos vegetativos durante el rebrote de pasturas de festuca alta defoliadas a diferente altura de remanente. El modelo describe a la pastura en estados variables (rectángulos en figura 1), los que estima en función de los procesos de morfogénesis que simula durante el rebrote (óvalos en figura 1). El modelo fue desarrollado mediante una planilla electrónica (200x MS Excel<sup>®</sup>).

La simulación comienza calculando el tiempo térmico del rebrote en grados-día de crecimiento (GDC, °Cd), con la acumulación de la temperatura media diaria (Tm) menos la temperatura base (Tb) (McMaster y Wilhelm, 1997):

$$GDC = \sum_{i=1} (Tm - Tb) \quad (Ec. 1)$$

El largo del tubo de vainas (LV, cm) al inicio del rebrote (LV<sub>0</sub>) es determinado directamente por la altura del remanente de defoliación (Di Marco *et al.*, 2013; Duru y Ducrocq, 2002) y se incrementa con los GDC del rebrote a una tasa de elongación constante por unidad térmica (TEV, cm °Cd<sup>-1</sup>).

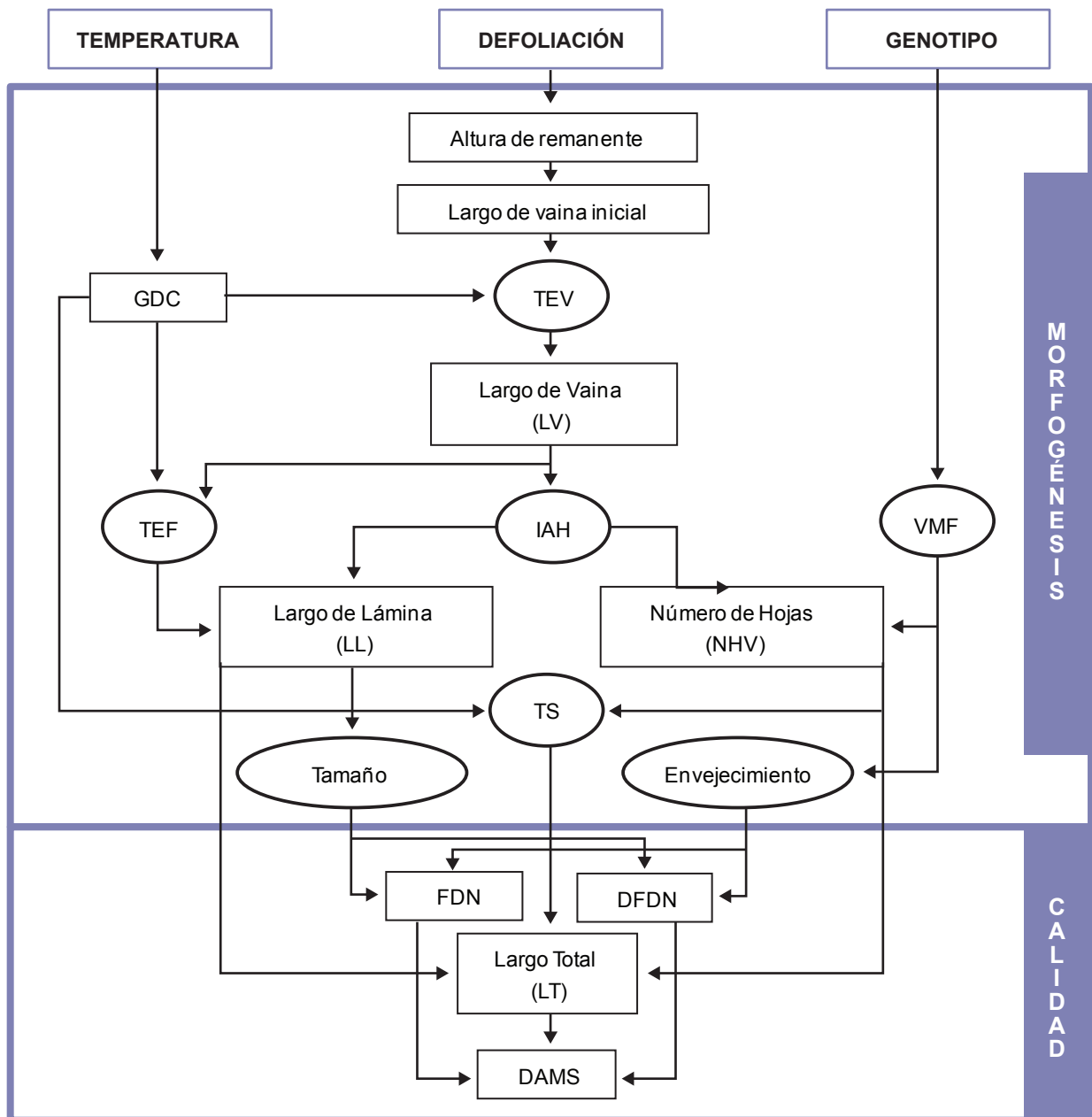


Figura 1. Diagrama de flujos del modelo.

La TEF ( $\text{cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$ ) aumenta con el LV como consecuencia de la relación entre el tamaño de vaina y el meristema de crecimiento de la hoja (Arredondo y Schnyder, 2003). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 2.

$$\text{TEF (cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}\text{)} = 0,01 \text{ LV} + 0,06 \quad (R^2 = 0,65; p < 0,0001) \quad (\text{Ec. 2})$$

El IAH ( $^\circ\text{Cd}$ ) aumenta con el LV debido a que cuanto más largo es el tubo de vainas, mayor es el tiempo que necesita la hoja en crecimiento para emerger por fuera de él (Skinner y Nelson, 1994). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 3.

$$\text{IAH (} ^\circ\text{Cd}\text{)} = -1,8886 \text{ LV}^2 + 47,6 \text{ LV} + 6,01 \quad (R^2 = 0,63; p < 0,0001) \quad (\text{Ec.3})$$

La duración de la elongación foliar (DEF,  $^\circ\text{Cd}$ ) se asume igual al IAH ya que se considera que los macollos presentan una única lámina en crecimiento por vez. Una vez que la hoja termina su fase de elongación, alcanza su largo final y permanece verde durante su VMF. Esta coordinación en el crecimiento de las hojas sucesivas del macollo fue asumida a partir de lo observado por Skinner y Nelson (1994) para festuca alta.

El largo final de la lámina (LL, cm) de cada hoja es determinado por la Ec.4 propuesta por Lemaire y Agnusdei (2000).

$$\text{LL (cm)} = \text{TEF} \times \text{DEF} \quad (\text{Ec.4})$$

Cuando finaliza la VMF, la hoja comienza a senecer a una determinada tasa (TS,  $\text{cm } ^\circ\text{Cd}^{-1}$ ). El proceso de se-

nescencia foliar avanza desde el ápice hacia la base de la lámina (Lemaire y Agnusdei, 2000), determinando así la proporción relativa de tejido muerto en la hoja ( $LL_m/LL$ ).

El NHV (hojas verdes macollo<sup>-1</sup>) depende de la velocidad con que aparecen y senecen las hojas, lo cual es calculado en la Ec.5 según lo reportado por Lemaire y Agnusdei (2000).

$$NHV = VMF / IAH \quad (Ec.5)$$

Varios trabajos experimentales muestran que, dentro de cada especie forrajera, cuanto más larga es una hoja menos calidad nutritiva tiene (Agnusdei *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013; Insua *et al.*, 2013). Este efecto negativo del largo foliar sobre la calidad nutritiva de las láminas se incluyó en el modelo mediante la incorporación de una relación lineal entre LL con la FDN y DFDN ( $L_{FDN}$  y  $L_{DFDN}$ , % cm<sup>-1</sup>). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó la Ec. 6 y 7, donde los parámetros de las ordenadas al origen ( $FDN_0$  y  $DFDN_0$ ) representan los máximos valores de calidad (teóricos) para hojas de cero cm de longitud.

$$FDN = FDN_0 + L_{FDN} \times LL \quad (Ec.6)$$

$$DFDN = DFDN_0 - L_{DFDN} \times LL \quad (Ec.7)$$

Adicionalmente, la lámina disminuye su digestibilidad por envejecimiento del tejido foliar (Duru y Ducrocq, 2002; Groot y Neuteboom, 1997) a una tasa constante con su edad ( $T_{DFDN-V}$ , % °Cd<sup>-1</sup>), la cual aumenta en senescencia ( $T_{DFDN-S}$ , % °Cd<sup>-1</sup>) cuando finaliza la VMF (Insua *et al.*, 2012).

$$Envejecimiento_{DFDN} = \begin{cases} T_{NDFD-V} & \text{si GDC} < \text{VMF} \\ T_{NDFD-S} & \text{si GDC} > \text{VMF} \end{cases} \quad (Ec.8)$$

Con respecto a las variaciones de FDN con la edad foliar, el modelo considera que solo aumenta durante la senescencia, manteniéndose sin cambios mientras la hoja permanece verde (Groot y Neuteboom, 1997; Agnusdei *et al.*, 2012; Insua *et al.*, 2012; Di Marco *et al.*, 2013). A partir de Insua *et al.* (2012) se estimó el aumento de FDN por efecto

del envejecimiento foliar como consecuencia del progresivo incremento en la proporción del tejido muerto en la lámina ( $LL_m/LL$ ) y su contenido de FDN ( $FDN_m$ ).

$$Envejecimiento_{FDN} = \begin{cases} 0 & \text{si GDC} < \text{VMF} \\ FDN * \left( \frac{LL - LL_m}{LL} \right) + FDN_m * \left( \frac{LL_m}{LL} \right) & \text{si GDC} > \text{VMF} \end{cases} \quad (Ec.9)$$

Para calcular la calidad nutricional total de la pastura (*C-pastura*), la Ec.10 pondera la contribución de FDN y DFDN que hace cada hoja individual al conjunto de láminas de diferente edad que componen el macollo:

$$C - pastura_j = \sum_{i=1}^n \left[ C - lámina_{a_j} * \left( \frac{LL_i}{LT_j} \right) \right] \quad (Ec.10)$$

donde *C-lámina* = calidad (FDN o DFDN) de la lámina individual, *LL* = longitud de lámina, *LT* = largo total de lámina acumulado por macollo, *i* = generación de hoja (H1, H2, H3, *n*), *j* = tiempo térmico (GDC) del rebrote.

El modelo utiliza la FDN y DFDN para calcular la DAMS a partir de la Ec.11 propuesta por Van Soest (1994).

$$DAMS (\%) = 1 + FDN * (DFDN - 1) - 11,9 \quad (Ec.11)$$

### Parametrización y validación

Los parámetros del modelo se estimaron sobre un cuerpo robusto de datos de morfogénesis y calidad foliar de dos cultivares de festuca alta generados en Insua *et al.* (2012) bajo un mismo manejo de defoliación. El modelo se validó con los valores de TEF, IAH, NHV, LL, LT, FDN, DFDN y DAMS observados por Insua *et al.* (2014) en rebrotes de un cultivar de festuca alta bajo dos alturas de remanente (4 y 10 cm). Para la simulación se utilizaron los mismos datos de temperatura registrados en el sitio experimental. Las comparaciones entre los valores observados y espera-

Parámetros		Unidad	Festuca alta
<b>Tb</b>	Temperatura base	°C	4
<b>VMF</b>	Vida media foliar	°Cd	630*
<b>TEV</b>	Tasa de elongación vaina	cm°Cd <sup>-1</sup>	0,0081
<b>TS</b>	Tasa de senescencia	cm°Cd <sup>-1</sup>	0,10163
<b>L<sub>FDN</sub></b>	Efecto de largo sobre FDN	%cm <sup>-1</sup>	0,106
<b>L<sub>DFDN</sub></b>	Efecto de largo sobre DFDN	%cm <sup>-1</sup>	-0,529
<b>T<sub>DFDN-V</sub></b>	Tasa de pérdida de DFDN en VMF	%°Cd <sup>-1</sup>	-0,0398*
<b>T<sub>DFDN-S</sub></b>	Tasa de pérdida de DFDN en senescencia	%°Cd <sup>-1</sup>	-0,1206*
<b>FDN<sub>0</sub></b>	Mínimo teórico de FDN foliar	%	51,5
<b>DFDN<sub>0</sub></b>	Máximo teórico de DFDN foliar	%	70,1
<b>FDN<sub>m</sub></b>	FDN tejido foliar muerto	%	64,9

**Tabla 1.** Parámetros del modelo de simulación ajustado a valores promedios de dos cultivares de festuca alta reportados en Insua *et al.* (2012). \*Solo para el cultivar El Palenque Plus

Parámetros	Altura de remanente	Promedios		Desvío (Observado-Esperado)	
		Observado	Esperado		(%)
TEF (cm día <sup>-1</sup> macollo <sup>-1</sup> )	Baja	1,4	1,7	-0,3	21
	Alta	2,3	2,4	-0,1	4
IAH (°Cd)	Baja	275	242	33	12
	Alta	354	304	50	14
NHV (hojas macollo-1)	Baja	2,5	2,4	0,1	4
	Alta	2,0	2,1	-0,1	5

**Tabla 2.** Variables morfogénicas foliares observadas y esperadas durante la VMF de rebrotes de festuca alta manejados a diferente altura de remanente: baja (4 cm) y alta (10 cm).

dos se realizaron mediante análisis visuales y estadísticos (desvíos entre observados y esperados). Para las variables de calidad se analizó la regresión lineal entre datos observados y esperados (Mayer y Butler, 1993), incluyendo el test F para los parámetros de intercepto cero y pendiente uno (exactitud del modelo), y el coeficiente de determinación ( $R^2$ , precisión del modelo).

## RESULTADOS

### Parametrización

Los valores de los parámetros se presentan en la tabla 1. Excepto TEV y TS, que fueron calculados sobre datos de nuestro grupo no publicados, el resto de los parámetros fueron reportados en Insua *et al.* (2012).

### Validación

Los valores esperados de TEF, IAH y NHV fueron similares a los observados durante la VMF –primeros 630 GDC del rebrote– (tabla 2). La figura 2 muestra cómo las simulaciones de la evolución del NHV, LL y LT durante la VMF fueron similares a los valores observados. Los desvíos entre valores esperados y observados para NHV y LT aumentaron con el avance del rebrote en ambos tratamientos (figura 2a y c) debido a que posterior al cumplimiento de la VMF el modelo subestimó un ~38% el IAH (-180 °Cd<sup>-1</sup>) y sobreestimó un ~50% la TEF (+1,2 cm día<sup>-1</sup>), respectivamente.

El menor IAH y TEF que mostró la pastura baja (tabla 2) determinó que produjera mayor NHV de menor LL respecto de la pastura alta (figura 2a y b). A su vez, el mayor NHV no compensó el menor LL, determinando que el LT de la pastura baja sea inferior que el de la alta (figura 2c). Vale aclarar que la producción de forraje no varió entre tratamientos debido a que el menor LT por macollo de la pastura baja fue compensado por un mayor número de macollos con respecto a la pastura alta (datos no presentados).

La figura 3 muestra que el modelo predijo adecuadamente la mayor DAMS foliar de la pastura baja respecto de la alta, estimada a través de la dinámica de sus dos componentes: FDN y DFDN. De las tres variables, la FDN fue subestimada ~5 puntos porcentuales en ambos tratamientos. Consecuentemente, los ajustes entre observados y es-

perados mostraron mayor precisión predictiva para DFDN y DAMS que para FDN (DFDN=0,86x+5,  $R^2=95$ ,  $p<0,0008$ ; DAMS=1,09x-8  $R^2=92$ ,  $p<0,002$ ; FDN=1,93x-47  $R^2=75$ ,  $p<0,02$ ) y valores más cercanos a los parámetros de intercepto cero (todos  $p>0,2$ ) y pendiente uno (todos  $p>0,1$ ).

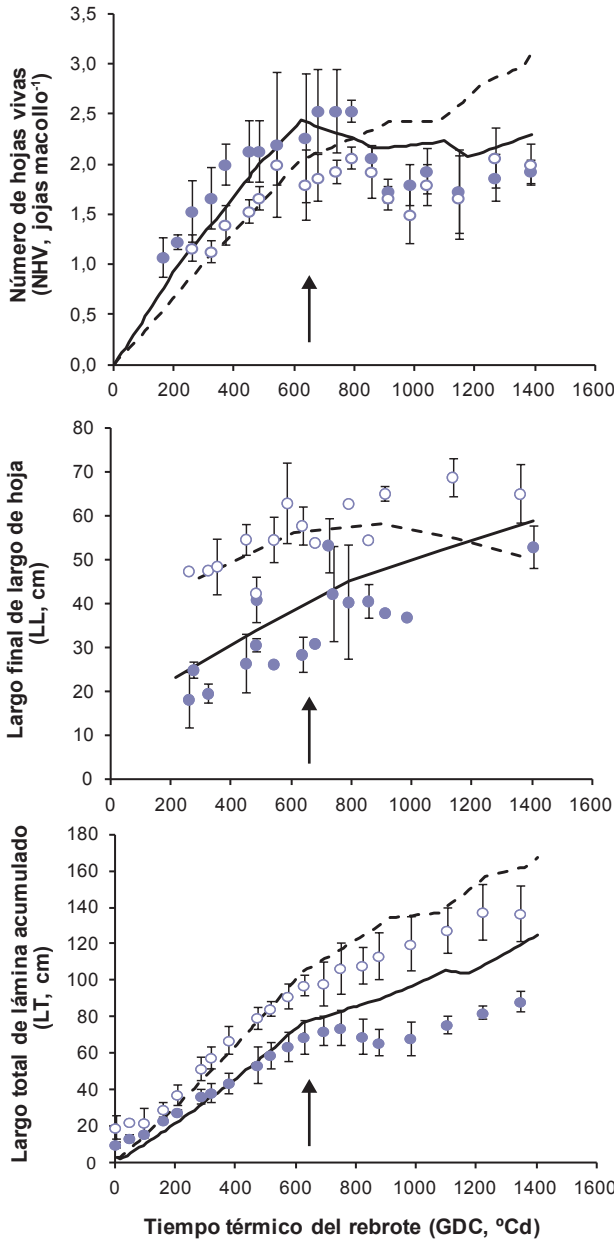
## DISCUSIÓN

El modelo desarrollado ofrece la posibilidad de simular la calidad de las pasturas sobre la morfogénesis foliar de las plantas. Este enfoque difiere de los modelos fisiológicos (ej. Johnson *et al.*, 2008) y utiliza una cantidad más reducida de parámetros, en nuestro caso en solo 11 ecuaciones. Ello permite simplificar procesos complejos, especialmente el efecto de la radiación sobre la fotosíntesis y el crecimiento (Lemaire y Agnusdei, 2000).

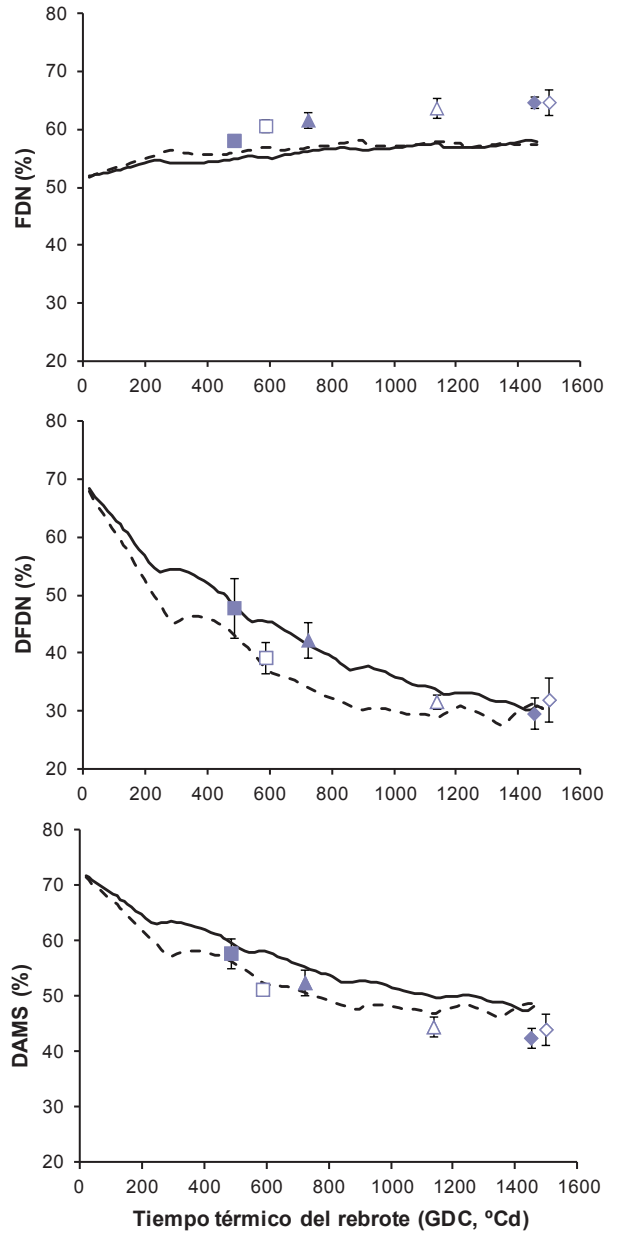
El principal objetivo del modelo fue describir la dinámica de calidad foliar durante el rebrote de pasturas bajo diferentes manejos de defoliación. En ese sentido, el modelo fue capaz de estimar las variaciones de DAMS de las pasturas a partir de la modelación de sus dos componentes, la FDN y DFDN (figura 3), en función del recambio foliar y el tamaño de las hojas que se acumularon en cada rebrote (figura 2). En particular, durante las simulaciones se predijo más del 95% de las variaciones de DFDN de las hojas (figura 3b), variable identificada como principal responsable de los cambios de calidad durante la VMF de pasturas con diferente estructura vegetativa (Insua *et al.*, 2012; 2013; 2014).

La capacidad del modelo para predecir la DFDN de las pasturas en relación con los cambios en el tamaño y edad de las hojas que se producen como respuesta al manejo de la defoliación (figura 3b) es el rasgo original y más importante del modelo con vistas a ser incorporado en modelos de crecimiento que no contemplan esta variable de calidad (ej. APSIM, McCown *et al.*, 1996), o que la consideran como factor fijo (ej. DairyMod, Johnson *et al.*, 2008). Con respecto a la FDN, el modelo predijo su dinámica con similar comportamiento al observado a campo (figura 3a), pero con una subestimación de 5%. Esta menor exactitud para predecir la FDN (figura 3a) se debería a que esta variable depende principalmente de las condiciones de crecimiento (radiación, temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes), y por lo tanto escapa a la naturaleza morfogénica del modelo que solo





**Figura 2.** Datos observados (símbolos) y esperados (líneas) durante el tiempo térmico (GDC) del rebrote en pasturas de festuca alta manejadas con dos alturas de remanente (baja, ● y alta, ○). Las fechas indican fin de la vida media foliar (VMF). Barras indican desvío estándar de la media.



**Figura 3.** Datos observados (símbolos) y esperados (líneas) durante el tiempo térmico (GDC) de pasturas de festuca alta manejadas con dos alturas de remanente: baja (4 cm, negro) y alta (10 cm, blanco). Símbolos indican estados de hojas: H2 (■), H3 (▲) y H4 (◆). Barras indican desvío estándar de la media.

considera la temperatura (Lemaire y Agnusdei, 2000). A pesar de estas limitaciones, las subestimaciones de la FDN produjeron leves sobreestimaciones en la DAMS, sin afectar la capacidad predictiva de su dinámica durante el rebrote (figura 3c).

Para entender cómo el manejo de la defoliación afectó la calidad de las pasturas, primero se debe explicar los cambios morfológicos que sucedieron durante los rebrotes. Al igual que lo observado por Di Marco *et al.* (2013) en agropiro, la reducción de la altura de remanente generó una pastura con vainas de menor tamaño que ocasionó una mayor velocidad de aparición de hojas (tabla 2). Este sim-

ple cambio morfológico con la altura de remanente no solo causó que se acumulara un mayor número de hojas más cortas (figura 2a y b), sino que también significó un cambio en la edad y largo foliar con que cada hoja (H1, H2, H3) contribuyó al total de biomasa acumulada. En otras palabras, para un mismo momento del rebrote, las pasturas provenientes de remanentes de menor altura produjeron forraje compuesto por un mayor número de hojas que a su vez fueron más jóvenes y de menor tamaño (ej. mayor DFDN) que el de pasturas manejadas a mayor altura. En términos generales estos cambios morfológicos en

respuesta al manejo de la altura de remanente fueron predichos aceptablemente por el modelo, en especial durante la VMF (figura 2). La pérdida de capacidad de predicción de las variables morfológicas luego de la VMF (figura 2) se debió simplemente a la acumulación de los errores de predicción de las variables morfogénicas (TEF, IAH) con el correr de la simulación del rebrote. Cabe destacar que esta falta de predicción en estados avanzados del rebrote no solo tuvo poco impacto en la estimación de calidad (debido a la gran cantidad de biomasa acumulada en esos momentos), sino que también ocurrió en períodos de poca relevancia para manejos adecuados del pastoreo orientados a la utilización del forraje dentro de la VMF (Fulkerson y Donaghy, 2001; Lemaire *et al.*, 2009).

Los resultados de modelación respaldan que el largo de vaina puede ser utilizado como un indicador eficiente para controlar la altura de remanente necesaria para manejar la calidad de la pastura a campo. Además, debido a que el largo de vaina puede asociarse a la biomasa foliar (Duru y Ducrocq, 2002), esa característica morfológica puede ser un posible enlace para integrar el presente modelo de calidad nutritiva con modelos de crecimiento de pasturas ya desarrollados.

## CONCLUSIÓN

El modelo predijo con aceptable precisión y exactitud las variaciones de DAMS de las pasturas bajo diferentes alturas de defoliación, indicando que las bases morfogénicas con las que se construyó el modelo serían las que explican la mayor parte de los cambios de calidad observados. Adicionalmente, estos resultados indican que la DFDN, usada en el modelo para definir la calidad nutricional, es una variable de peso para predecir las variaciones de digestibilidad observadas durante el rebrote de pasturas de diferente estructura. Esto sugiere que la descripción de la dinámica de DFDN en relación con la morfogénesis foliar tiene un gran potencial de aporte para la experimentación y predicción de la calidad nutritiva de pasturas.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de la tesis doctoral del Ing. Agr. Juan Ramón Insua para presentar al programa de Postgrado de la Universidad Nacional de Mar del Plata como parte del requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrarias.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGNUSDEI, M.G.; DI MARCO, O.N.; NENNING, F.R.; AELLO, M.S. 2012. Leaf blade nutritional quality of rhodes grass (*Chloris gayana*) as affected by leaf age and length. *Crop Past Sci.* 62: 1098-1105.
- ARREDONDO, J.T.; SCHNYDER, H. 2003. Components of leaf elongation rate and their relationship to specific leaf area in contrasting grasses. *New Phytol.* 158: 305-314.
- BERGER, H.; MACHADO, C.F.; AGNUSDEI, M.; CULLEN, B.R. 2014. Use of a biophysical simulation model (DairyMod) to represent tall fescue pasture growth in Argentina. *Grass Forage Sci.* 69: 441-453.
- BRYANT, J.R.; SNOW, V.O. 2008. Modelling pastoral farm agro-ecosystems: a review. *N. Z. J. Agric. Res.* 51: 349-363.
- CHAPMAN, D.F.; THARMARAJ, J.; AGNUSDEI, M.G.; HILL, J. 2012. Regrowth dynamics and grazing decision rules: further analysis for dairy production systems based on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) pastures. *Grass Forage Sci.* 67: 77-95.
- DI MARCO, O.N.; HARKES, H.; AGNUSDEI, M.G. 2013. Calidad de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) en estado vegetativo en relación con la edad y longitud de las hojas. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 39: 105-110.
- DURU, M.; DUCROCQ, H. 2002. A model of lamina digestibility of orchardgrass as influenced by nitrogen and defoliation. *Crop Sci.* 42: 214-223.
- FULKERSON, W.J.; DONAGHY, D.J. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 261-275.
- GROOT, J.C.J.; NEUTEBOOM, J.H. 1997. Composition and digestibility during ageing of Italian ryegrass leaves of consecutive insertion levels. *J. Sci. Food. Agric.* 75: 227-236.
- INSUA, J.R.; AGNUSDEI, M.G.; DI MARCO, O.N. 2012. Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de "festuca alta" (*Festuca arundinacea* Schreb). *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 38: 190-195.
- INSUA, J.R.; DI MARCO, O.N.; AGNUSDEI, M.G. 2013. Calidad nutritiva de láminas de "festuca alta" (*Festuca arundinacea* Schreb.) en rebrotes de verano y otoño. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 39: 267-272.
- INSUA, J.R.; DI MARCO O.N.; AGNUSDEI M.G. 2014. Longitud de la vaina como determinante de la calidad de hojas de *Festuca arundinacea* durante un período de rebrote. *Rev. Investigaciones Agropecuarias.* 40: 202-207.
- JOHNSON, I.R.; CHAPMAN, D.F.; SNOW, V.O.; ECKARD, R.J.; PARSONS, A.J.; LAMBERT, M.G.; CULLEN B.R. 2008. DairyMod and EcoMod: biophysical pasture-simulation models for Australia and New Zealand. *Agric. Sys.* 48: 621-631.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M.G. 2000. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. *En: LEMAIRES, G.; HODGSON, J.; DE MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Eds.) Grassland ecophysiology and grazing ecology.* CAB International, 265-287 pp.
- LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.G.; WADE, M.; HODGSON, J. 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass Forage Sci.* 64: 341-353.
- MAYER, D.G.; BUTLER, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling.* 68: 21-32.
- MCCALL, D.G.; BISHOP-HURLEY, G.P. 2003. A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agric. Sys.* 76: 1183-1205.
- MCCOWN, R.L.; HAMMER, G.L.; HARGREAVES, J.H.G.; HOLZWORTH, D.P.; FREEBAIRN D.M. 1996. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Sys.* 50: 255-271.
- MCMMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest. Meteorol.* 87: 291-300.
- SKINNER, R.H.; NELSON, C.J. 1994. Epidermal Cell Division and the Coordination of Leaf and Tiller Development. *Ann Bot.* 74: 9-16.
- VAN SOEST, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2<sup>nd</sup> ed, 476 pp. Ithaca, Nueva York, Cornell University Press.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- WOODWARD, S.J.R.; ROLLO, M.D. 2002. Why pasture growth prediction is difficult. *Agronomy.* 32: 17-26.