



RUMENAL: procedimiento para estimar los parámetros de cinética ruminal mediante la función Solver de Microsoft Excel®



Héctor J Correa C¹, MSc

¹ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Departamento de Producción Animal. hjcc_unal@hotmail.com

(Recibido: 12 diciembre, 2003; aceptado: 16 septiembre, 2004)

Resumen

Con la finalidad de disponer de una aplicación simple que permitiera observar y manejar de manera amigable la función Solver de Microsoft Excel® para el cálculo de los parámetros de cinética ruminal, se desarrolló el procedimiento RUMENAL y se compararon sus resultados con los obtenidos mediante el programa estadístico Statistical Analysis System. El documento describe la manera como se construye el procedimiento tanto para datos que incluyan un tiempo de retraso antes del inicio de la degradación (Lag) como para aquellos que no lo presenten. Se tomó la información de degradación ruminal de la materia seca de las hojas de tres variedades de yuca y se calcularon los parámetros de cinética ruminal mediante el procedimiento RUMENAL y el programa estadístico Statistical Analysis System, encontrando que los resultados fueron similares y, por la misma razón, lo fue la sumatoria de los cuadrados de los errores de predicción.

Palabras clave: alimentos, programación, rumiantes

Introducción

La técnica *in situ* ha sido ampliamente utilizada para obtener los datos que se requieren en la estimación de los parámetros de cinética ruminal de las fracciones nutricionales en alimentos para rumiantes (7, 9). Para estimar estos parámetros fue propuesto inicialmente el modelo matemático exponencial $y = a + b(1 - \exp(-k_d * t))$, donde y es el porcentaje de la fracción nutricional degradada, t es el tiempo, y a , b y k_d , son las constantes que representan la fracción inmediatamente degradable en el tiempo cero, la fracción potencialmente degradable y la constante de la cinética de degradación ruminal de esta última fracción, respectivamente (10). Sin embargo, debido a que es posible encontrar un tiempo de retraso (Lag) antes que dé inicio la degradación, ha sido propuesto otro modelo que incorpora este tiempo de retraso: $y = a + b(1 - \exp(-k_d * (t - \text{Lag})))$ (2). Para el cálculo de los parámetros de cinética ruminal a partir de estos modelos, se han desarrollado diversas metodologías que incluye el cálculo manual de los mismos (9), el

uso de programas específicos como el NEWAY (Rowet Research Institute, Aberdeen, UK) y la estimación mediante programas estadísticos como el Statistical Analysis System (11). La función Solver de la hoja de cálculo Microsoft Excel®, también puede ser utilizada para este propósito. Esta función permite hallar valores de celdas que hacen máxima o mínima una función que esta sujeta a restricciones, es decir, resuelve modelos de optimización restringida (4). Chen (1) desarrolló un programa basado en esta función pero involucrando una interfase para el manejo de los datos y la edición de los resultados que hace de este un programa algo complejo y que, además, no permite observar el funcionamiento de la función Solver. Con la finalidad disponer de una aplicación simple que permitiera observar y manejar de manera más amigable la función Solver de Microsoft Excel® para el cálculo de los parámetros de cinética ruminal, se desarrolló el procedimiento RUMENAL y se compararon sus resultados con los obtenidos mediante el programa estadístico Statistical Analysis System (11).

Materiales y métodos

Para desarrollar la aplicación, es necesario verificar que la función *Solver* este instalada en la hoja de cálculo Microsoft Excel®. Para ello se debe abrir la opción *Herramientas* y verificar que contenga esta función. De no ser así, es necesario abrir la función *Complementos* en *Herramientas* y buscar la función *Solver* e instalarla. En caso de estar instalada (o luego de instalarla), hay que crear dos hojas: en la primera se realizarán los cálculos utilizando el modelo de Ørskov y McDonald (10) para datos que no presenten tiempo Lag, mientras que en la segunda se realizan los cálculos utilizando el modelo modificado por Dhanoa (2) para datos que presenten tiempo Lag. En el primer caso (sin tiempo Lag) se crean siete columnas en el siguiente orden: TIEMPO, % de degradación (%DEG), *a*, *b*, k_d , Ecuación y cuadrado del residual (CR) (véase Figura 1).

	A	B	C	D	E	F	G
1	TIEMPO	% DEG	a	b	k_d	Ecuación	CR
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							0

Figura 1. Estructura de columnas en la hoja de cálculo Microsoft Excel® para la estimación de los parámetros de cinética ruminal mediante el procedimiento RUMENAL.

En la columna “TIEMPO” se colocan los tiempos en los que se incubaron las muestras mientras que en la columna % DEG, el respectivo valor de degradabilidad de la fracción que se está estudiando (véase Figura 2).

	A	B	C	D	E	F	G
1	TIEMPO	% DEG	a	b	k_d	Ecuación	CR
2	0	25.30					
3	2	32.40					
4	4	46.00					
5	8	55.30					
6	16	63.00					
7	24	68.00					
8	48	70.00					
9	72	70.20					
10							
11							
12							
13							0

Figura 2. Introducción de la información sobre tiempos de incubación y porcentaje de degradación en la hoja de cálculo Microsoft Excel® para la estimación de los parámetros de cinética ruminal mediante el procedimiento RUMENAL.

En las celdas correspondientes a las fracciones *a*, *b* y a la k_d , se hace necesario introducir una orden que permita que valores constantes aparezcan al frente de cada tiempo de incubación y que corresponden a las constantes que se calculan con la función Solver. Esto implica que en algún lugar de la hoja deberá introducirse un valor inicial para cada constante (*a*, *b* y k_d); tomando como ejemplo la estructura de columnas que se presenta en la figura 2, el valor inicial (uno:1.0) para las constantes se coloca en la celda de cada columna que corresponda con la fila 13 (véase Figura 3). Así, para la fracción *a* (ubicada en la columna “C” en la figura 1), se coloca 1.0 en la celda correspondiente a la fila 13, esto es, en la celda C13. Para la fracción *b* se coloca 1.0 en la celda D13 mientras que para la k_d se coloca 0.1 como valor inicial en la celda E13. Estos valores iniciales son necesarios para que el programa dé inicio a los cálculos de los parámetros de cinética ruminal.

	A	B	C	D	E	F	G
1	TIEMPO	% DEG	a	b	k_d	Ecuación	CR
2	0	25.30	1	1	0.1	1.000	590.49
3	2	32.40	1	1	0.1	1.020	994.72
4	4	46.00	1	1	0.1	1.039	2021.47
5	8	55.30	1	1	0.1	1.077	2940.15
6	16	63.00	1	1	0.1	1.148	3625.66
7	24	68.00	1	1	0.1	1.213	4460.45
8	48	70.00	1	1	0.1	1.361	4708.54
9	72	70.20	1	1	0.1	1.513	4717.87
10							
11							
12							
13			1	1	0.1		24249.37

Figura 3. Estructura de información para la estimación de los parámetros de cinética ruminal mediante el procedimiento RUMENAL en la hoja de cálculo Microsoft Excel®.

La orden que se hace necesario introducir en las celdas para la fracción *a* es =SI(\$C\$13=»»,»»,SI(A2=»»,»»,+\$C\$13)); mientras que para la fracción *b* es =SI(\$D\$13=»»,»»,SI(A2=»»,»»,+\$D\$13)) y para la k_d es =SI(\$E\$13=»»,»»,SI(A2=»»,»»,+\$E\$13/100)). Estas órdenes son similares para todas las celdas que van desde la fila 2 hasta la fila 12 con lo que a medida que se tenga un mayor número de tiempos de incubación, aparecerán los valores situados en las celdas C13, D13 y E13 en los espacios correspondientes a cada tiempo de incubación.

En la columna “Ecuación”, se escribe la ecuación de Ørskov y McDonald (10) condicionando la aparición de un valor a la existencia de datos en la columna correspondiente a los tiempos de incubación. Teniendo

en cuenta esta restricción, la orden que se ingresa es: =SI(\$C\$13=»»,»»,SI(A2=»»,»»,+C2+D2*(1-EXP(-E2*A2))). Esta orden se copia en todas las celdas que van desde la fila dos hasta la 12 de la columna “Ecuación” (véase Figura 3).

En la columna destinada a calcular los CR, se calcula el cuadrado de la diferencia entre el valor real (columna “% DEG”) y el valor estimado por la ecuación (columna “Ecuación”) mediante la siguiente fórmula: =SI(\$C\$13=»»,»»,SI(A2=»»,»»,+(B2-F2)*(B2-F2))). Como se puede apreciar, al igual que las fórmulas anteriores, esta también está condicionada a la existencia de datos en la columna correspondiente a los tiempos de incubación. Sin embargo, en aquellas celdas en las que existen datos, se calcula el cuadrado de la diferencia que finalmente es sumado en la celda G13. Es precisamente este valor el que permite el cálculo de los parámetros de la cinética ruminal mediante la función Solver ya que lo que se pretende es encontrar los valores de cada parámetro tales que conduzcan a obtener el valor más bajo de la sumatoria de los cuadrados de los errores de predicción (SCEP), es decir, la celda G13. Este mismo parámetro es el que minimiza el programa Statistical Analysis System (11) para hallar los parámetros de cinética ruminal mediante el PROC NLIN.

Teniendo la estructura de datos como aparece en la figura 3, se pasa a activar la función Solver (véase Figura 4). En el espacio correspondiente a la “celda objetivo” se escribe el código de la celda donde se calcula la SCEP, que para el ejemplo es la celda G13. En las opciones “valor de la celda objetivo” se elige “Mínimo” y en el espacio correspondiente a “Cambiando las celdas” se escribe el rango de celdas en donde se encuentran los valores iniciales de los parámetros de cinética ruminal, que para el ejemplo es C13:E13, es decir, el rango que incluye a las celdas C13 (fracción a), D13 (fracción b) y E13 (k_d). Luego se activan las “Opciones...” (véase Figura 4) y en la nueva ventana se activa la opción “Asumir no negativos” con la finalidad de que ninguno de los parámetros aparezca con valores negativos. Se aplica la opción “Aceptar” para regresar a la ventana anterior en donde finalmente se activa la opción “Resolver” con lo que el programa modifica los valores de las celdas anteriores y establece aquellos que minimizan el error de predicción y que corresponden a los parámetros de cinética ruminal.

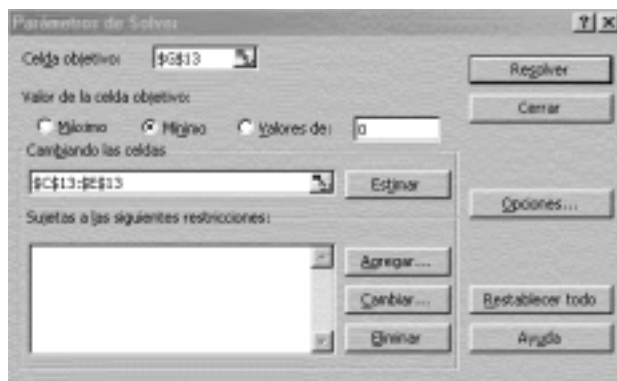


Figura 4. Parámetros de Solver para la estimación de los parámetros de cinética ruminal mediante el procedimiento RUMENAL en la hoja de cálculo Microsoft Excel®.

Para el caso en el que los datos indiquen la presencia de un tiempo de retraso (Lag), el procedimiento es similar al anteriormente descrito pero incluyendo una columna para el tiempo Lag y modificando la ecuación por la de Dhanoa (2). Adicionalmente, se hace necesario tener en cuenta que el tiempo Lag (celda C13 en la Figura 5) debe ser mayor al tiempo inicial (celda A2 en la Figura 5) pero menor al tiempo más alto que aquel en el que no se observa un cambio significativo en la degradabilidad con relación a la observada en el tiempo inicial (celda A3 en la Figura 5). Así mismo se debe restringir la SCEP (celda H13 en la figura 5) a aquellos valores que van desde el tiempo más alto considerado en el que no se observó un cambio significativo en la degradabilidad con relación a la observada en el tiempo inicial, hasta el tiempo más alto. Así, si por ejemplo, no se observa cambio en la degradación desde el tiempo cero hasta las 2 horas, se introducen estas restricciones en el Solver y se modifica la celda H13 para que realice la sumatoria entre la celda H3 y la celda H12 (Suma(H3:H12)) (véase Figura 6).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TIEMPO	% DEG	Lag	a	b	kd	Ecuación	CR
2	0	25.30	1	1	1	0.1	1.000	961
3	2	32.40	1	1	1	0.1	1.020	884.72
4	4	46.00	1	1	1	0.1	1.038	2021.47
5	8	55.30	1	1	1	0.1	1.077	2940.15
6	16	65.00	1	1	1	0.1	1.148	3825.89
7	24	68.00	1	1	1	0.1	1.213	4480.45
8	48	70.00	1	1	1	0.1	1.381	4708.54
9	72	70.20	1	1	1	0.1	1.613	4717.87
10								
11								
12								
13			1	1	1	0.1		24819.88

Figura 5. Estructura de información para la estimación de los parámetros de cinética ruminal incluyendo un tiempo de retraso (Lag) mediante el procedimiento RUMENAL en la hoja de cálculo Microsoft Excel®.

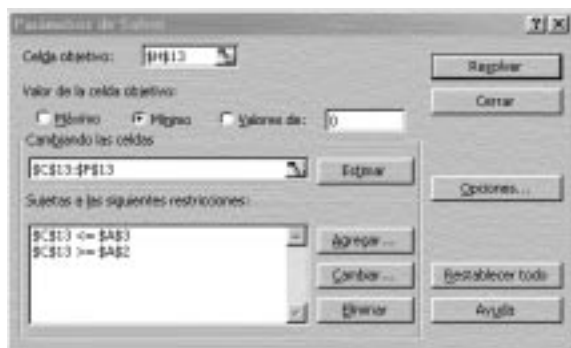


Figura 6. Parámetros de Solver para la estimación de los parámetros de cinética ruminal incluyendo un tiempo de retraso (Lag) mediante el procedimiento RUMENAL en la hoja de cálculo Microsoft Excel®.

Para establecer la capacidad de estimación de los parámetros de cinética ruminal del procedimiento previamente descrito se utilizaron los datos publicados por Fernández y Villa (3) (véase Tabla 1) para la degradabilidad de la materia seca (MS) de las hojas de tres variedades de yuca (Cotumare, CM 6370 – 2 y CM 5655 – 4) y se compararon con los valores obtenidos mediante el programa Statistical Analysis System (11) de acuerdo al protocolo descrito por Galyean (5).

Tabla 1. Valores promedios de la degradabilidad de la MS en rumen de hojas de yuca de las variedades CM 5655 - 4, CM 6370 - 2 y Cotumare cosechadas a los cuatro meses de edad (Fernández y Villa, 2002).

Variedad	Tiempo de degradación							
	0h	2h	4h	8h	16h	24h	48h	60h
Cotumare	25.7	27.3	31.8	41.2	66.9	68.3	71.0	70.9
CM 6370 - 2	29.3	29.7	33.5	46.8	66.1	73.4	69.1	74.1
CM 5655 - 4	27.1	28.2	31.7	42.2	66.2	69.4	71.7	72.2

Tabla 2. Parámetros de cinética ruminal de de la MS de las hojas de yuca de las variedades Cotumare, CM 6370 - 2 y CM 5655 – 4 cosechadas a los cuatro meses de edad (Fernández y Villa, 2002) calculados con la función Solver y el programa estadístico SAS (1999).

Variedad ¹	Parámetros de cinética ruminal											
	a			b			K _d			SCEP		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Solver	20.9	23.9	22.1	52.3	50.5	52.3	8.4	8.7	8.0	134	134	124
SAS, 1999	20.9	23.9	22.1	52.3	50.5	52.3	8.4	8.7	8.0	134	134	124

Resultados

Los parámetros de cinética ruminal calculados mediante el procedimiento descrito en este documento (RUMENAL) y mediante el programa Statistical Analysis System (SAS) (11) se presentan en la tabla 2. Como se puede apreciar, los valores fueron idénticos y, por la misma razón, también lo fue la SCEP.

Discusión

La estimación correcta de los parámetros de cinética ruminal es fundamental en la valoración de alimentos para rumiantes (8) de tal manera que el

desarrollo de programas sencillos, precisos y exactos para su estimación es de gran valor para actividades académicas, investigativas y profesionales que involucre este tipo de información. La función Solver, que se encuentra incorporada en la hoja de cálculo Microsoft Excel®, es una poderosa herramienta que permite el cálculo preciso y exacto los parámetros de cinética ruminal de manera sencilla suministrando resultados idénticos a los que se obtienen con programas estadísticos como el Statistical Analysis System (11). Es uso de esta herramienta tiene la ventaja adicional de ser de fácil acceso y a más bajo costo que aquel en el que se incurre por la adquisición de la licencia del programa Statistical Analysis System (11).

En la medida en que el usuario de la función Solver se familiarice con su manejo, podrá encontrar un mayor número de aplicaciones y la posibilidad de incorporar un mayor número de modelos matemáticos que son utilizados en la estimación de los parámetros de cinética ruminal como los descritos por López *et al* (7). Así mismo, se tendrá la posibilidad de explorar otros modelos que no han sido evaluados para el cálculo de los parámetros de cinética ruminal como los publicados por Kiviste *et al* (6) para el estudio del crecimiento de los árboles ya que el

comportamiento de los datos es similar al que se observa en la degradabilidad ruminal de las fracciones nutricionales de los alimentos. Estas exploraciones no son fáciles de realizar mediante el programa estadístico Statistical Analysis System (11) debido a que se hace necesario tener un amplio conocimiento en la programación del mismo bajo el PROC NLIN. Esta exploración es fácil llevarla a cabo mediante la función Solver de la hoja de cálculo Microsoft Excel®, siempre que se sigan las instrucciones presentadas aquí u otras similares.

Summary

RUMENAL: procedure to estimate the ruminal kinetics parameters through the Solver function of Microsoft Excel®.

The aim of this paper was to offer a simple application to estimate the ruminal kinetics parameters using the Solver function of Microsoft Excel®. It is described the way to build the procedure of both to data with Lag time as data without this time. To estimate the ruminal kinetics parameters through this procedure, were utilized data from ruminal degradation of three cassava varieties leaves and the results were compared with those obtained with the NLIN procedure of SAS software. The results obtained with the two procedures were similar pointing out that the Solver procedure is appropriate to estimate the ruminal kinetics parameters.

Key words: feeds, programing, ruminants

Referencias.

1. Chen XB. NEWAY: Curve fitting programme software for Orskov's model (DOS version). International Feed Resources Unit, Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, Scotland 2000. URL: <http://www.mluri.sari.ac.uk/IFRU/fcurve.html>.
2. Dhanoa MS. On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. *Grass Forage Sci* 1988; 43:441-444.
3. Fernández JP, Villa AF. Evaluación nutricional de la hoja de tres variedades de yuca en la alimentación de rumiantes. Trabajo de Grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2002. 83p.
4. Fylstra D, Lasdon L, Watson J, Waren A. Design and Use of the Microsoft Excel Solver. *Interfaces* 1998; 28: 29-55.
5. Galyean ML. Laboratory procedures in animal nutrition research. West Texas A&M University, Division of Agriculture and Texas A&M Research and Extension Center, Amarillo; 1997.
6. Kiviste A, Álvarez JG, Rojo A, Ruíz AD. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. INIA. Madrid, España 2002. 190p.
7. López S, France J, Dhanoa MS, Mould F, Dijkstra J. Comparison of Mathematical Models to Describe Disappearance Curves Obtained Using the Polyester Bag Technique for Incubating Feeds in the Rumen. *J Anim Sci* 1999; 77:1875-1888.
8. National Research Council. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press, Washington, D. C.; 2001. 381p.
9. Osuji PO, Nsahlai IV, Khalili H. *Feed evaluation*. ILCA Manual 5. ILCA (International Livestock Center for Africa), Addis Ababa, Ethiopia; 1993. 38p.
10. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 1979; 92: 499-503.
11. Statistical Analysis System. SAS User's Guide: Statistics (Version 8.0 Ed.) SAS Inst. Inc, Cary, NC 1999.