



Degradación ruminal *in situ* de hojas de árboles cetrinos utilizando diferentes modelos matemáticos

Valiollah Palangi. 

Ataturk University, Agricultural Faculty, Department of Animal Science, 25240, Erzurum, Turkey.
Correspondencia: valiollah.palangi12@ogr.atauni.edu.tr

Recibido: Septiembre 2020; Aceptado: Abril 2021; Publicado: Junio 2021.

RESUMEN

Objetivo. El objetivo de presente estudio fue determinar los parámetros de digestión *in situ* de las hojas cetrinas (*Salix Alba*) como alimento alternativo, no utilizado comúnmente en dietas animales utilizando modelos matemáticos. **Materiales y métodos.** Se utilizaron cuatro modelos matemáticos para describir la desaparición ruminal de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) de hojas cetrinas: exponencial no rezagado (Modelo I); exponencial rezagado (Modelo II); Gompertz (Modelo III) y Mitscherlich generalizado (Modelo IV). **Resultados.** Los resultados de las características de degradabilidad de DM y CP mostraron que todos los modelos se ajustaban bien ($r^2 > 0.98$) a los datos de desaparición y había pequeñas diferencias entre los modelos en términos de evaluaciones estadísticas. Sin embargo, los modelos diferían en los parámetros estimados dependiendo de la naturaleza y estructura del modelo y los parámetros incluidos. **Conclusiones.** Dado que algunos modelos estimaron valores negativos para los parámetros estudiados, estos no fueron biológicamente aceptables. Por esta razón, solo el modelo I puede usarse para estimar la degradabilidad de MS y PC de hojas cetrinas. En términos de degradabilidad efectiva (DE) de la DM, el modelo III, debido a la estimación de valores negativos para la parte A, no se utilizó en los cálculos. Debido a que las hojas cetrinas constituyen la mayor proporción posible de las fracciones de degradabilidad ruminal y la degradabilidad efectiva, se puede utilizar como fuente de forraje en alimentos para rumiantes.

Palabras clave: Degradabilidad; técnica *in sacco*; modelos matemáticos; hojas cetrinas (*Fuente: USDA*).

ABSTRACT

Objective. The objective of this study was to determine the *in situ* digestion parameters of willow leaves (*Salix Alba*) as an alternative food, not commonly used in animal diets using mathematical models. **Materials and methods.** Four mathematical models were used to describe the ruminal disappearance of dry matter (DM) and crude protein (CP) of willow leaves: non lagged exponential (Model I); lagged exponential (Model II); Gompertz (Model III), and generalized Mitscherlich (Model IV). **Results.** Results of DM and CP degradability characteristics showed that all the models fitted well ($r^2 > 0.98$) to the disappearance data. There were minor differences between the models in terms of

Como citar (Vancouver).

Palangi V. Degradación ruminal *in situ* de hojas de árboles cetrinos utilizando diferentes modelos matemáticos. Rev MVZ Córdoba. 2021; 26(3):e2170. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2170>



©El (los) autor (es), Revista MVZ Córdoba 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

statistical evaluations. However, the models differed in the estimated parameters depending on the model's nature and structure and the parameters included. **Conclusions.** Given that some models estimated negative values for the studied parameters, they were not biologically acceptable. For this reason, the only model I can be used for estimating the degradability of DM and CP of willow leaves. In terms of effective degradability (ED) of DM, model III was not used in the calculations because of calculating negative values for part A. Willow leaves constitute the largest possible proportion of the ruminal degradability fractions, and effective degradability can be used as a forage source in ruminant feeds.

Keywords: Degradability; *In sacco* technique; mathematical models; willow leaves (*Source: USDA*).

INTRODUCCIÓN

La facilidad de uso y el costo de los piensos comerciales son problemas importantes para las granjas de rumiantes. En consecuencia, es necesario reemplazar ingredientes alternativos rentables con alto valor nutricional y proteico (1,2). Los subproductos agrícolas como la harina de sésamo pueden tener un impacto importante en la reducción de los costos de producción (3,4). Las hojas de plantas como la cetrinas se pueden utilizar como una fuente de proteína calificada y barata (5) para los rumiantes. Las hojas de los árboles como el cetrino (*Salix Alba*), disponibles en el país, se pueden utilizar como fuente de alimento a bajo precio. Aun así, se necesita tener suficiente información sobre los nutrientes y la disponibilidad de estas sustancias.

La particularidad de la fermentación ruminal de los piensos se puede estudiar utilizando técnicas *in vivo*, *in situ* e *in vitro*. El poliéster de dacrón o la técnica *in sacco* se ha utilizado ampliamente para estimar la degradación de nutrientes ruminales porque es un método relativamente simple y de bajo costo en comparación con otros métodos. La técnica de la bolsa de nylon proporciona un medio útil para estimar las tasas de desaparición y la degradabilidad potencial de los alimentos y los componentes de los alimentos (6).

Está bien establecido que el contenido del alimento juega el papel más importante en los productos animales y la longevidad de los organismos y las preocupaciones ambientales. Hasta ahora se han sugerido varios métodos para estimar la proporción de contenido bueno y malo de los alimentos. Pero si se identifican los alimentos digeribles y se trazan sus curvas de degradación, proporcionará información más útil para juzgar los alimentos. Idealmente, se requiere una función para modelar tanto un rango de formas sin punto de inflexión como un rango de condiciones sigmoideas en las que

el punto de inflexión es variable. La seguridad alimentaria es una preocupación mundial, por lo que se prestará más atención a la identificación de fuentes alternativas. Para combatir o prevenir marginalmente el problema, los granos comestibles humanos pueden excluirse de la alimentación del ganado. Estos granos pueden ser sustituidos por desechos de procesos ricos en nutrientes o subproductos como hojas de árboles. El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros de digestión *in situ* de hojas cetrinas (*Salix Alba*) como alimento alternativo, no utilizado comúnmente en dietas animales mediante modelos matemáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de la muestra. Las hojas de cetrino se cosecharon a mediados de agosto en la ciudad de Bonab, Azerbaiyán oriental (Irán). Posteriormente, las hojas secas se molieron en un molino Willy a través de un tamiz de 2 mm para análisis químico y ensayos de degradabilidad *in situ*.

Degradación *in situ*. Para el experimento de degradabilidad *in situ* se utilizaron dos ovejas de un año canulados ruminalmente de $35 \pm 1,8$ kg. La composición química y los datos de la bolsa de nylon se describieron anteriormente (5). Dado que en este trabajo se han estudiado los modelos matemáticos y las curvas de desaparición de la degradación ruminal, se explicarán estos métodos.

Modelos matemáticos. Los modelos de digestión debido a su dependencia de la naturaleza del alimento consisten en ecuaciones secuenciales, una distribución lineal y una curva de ecuaciones diferenciales e integrales que deben usarse para mostrar el tipo de proceso de digestión (7,8). Los modelos I y II son modelos de cinética de primer orden sin y con fase de retraso, respectivamente. El modelo III es la curva de Gompertz. El modelo IV es Mitscherlich

generalizado, el modelo I (da como resultado el modelo I para $d = 0$), con un componente de dependencia del tiempo de raíz cuadrada (9,10,11).

Los modelos que se utilizaron incluyeron:

Modelo de cinética de primer orden sin fase de retraso

$$P = a + b (1 - e^{-ct})$$

Modelo de cinética de primer orden con fase de retraso

$$P = a + b (1 - e^{-c(t+L)})$$

Modelo Gompertz I

$$P = a + b (K - K \exp(-ct) / K - 1)$$

Modelo de Mitscherlich generalizado

$$P = a + b (1 - e^{-c(t-L) - d(\sqrt{t} - \sqrt{L})})$$

donde,

Y = la cantidad cualquiera de Materia Seca (MS), o Proteína bruta (PB),

a, b, c, d y k = parámetros a estimar y,

t = tiempo.

Los datos de degradabilidad de MS y PC se ajustaron a cada modelo mediante regresión no lineal utilizando el procedimiento de Levenberg-Marquardt de MATLAB (2019). En la actualidad, los métodos de optimización se utilizan ampliamente en diversas ciencias (12,13); Para ello, se utilizó la caja de herramientas de ajuste de curvas de

MATLAB y el algoritmo numérico basado en el método Levenberg-Marquardt. Los modelos se identificaron mediante el tooltript del editor y se definieron los puntos de partida y rangos requeridos para los modelos. Se utilizó la función de medida de bondad de ajuste para medir los valores de error de las curvas de ajuste en los modelos estudiados. El ajuste del modelo matemático se detuvo cuando se modificaron los residuos por debajo de la tolerancia.

Degradabilidad efectiva (DE). La DE se calculó según la ecuación de Ørskov et al (14):

$$DE = a + [bc / (c + k)]$$

donde "a", "b" y "c" son las constantes descritas anteriormente en los diferentes modelos matemáticos anteriores y "k" es la tasa de flujo de salida fraccional del rumen (0.02/h, 0.03/h, 0.04/h, 0.05/h, o 0.06/h).

RESULTADOS

Modelos estadísticos. Los diferentes modelos digestibles sobre la degradabilidad de MS y PC de hojas cetrinas se presentaron en las tablas 1 y 2. La comparación de varios modelos ajustados para la degradabilidad de MS de hojas cetrinas con base en el coeficiente de determinación (r^2) y ajustado (r^2) mostró que los modelos I y IV se ajustaron mejor. En nuestro estudio, el modelo IV mostró los parámetros de bondad más altos para la selección. El proceso de ajuste continuó hasta que un cambio en los residuos por debajo de la tolerancia y luego se detuvo.

Tabla 1. Parámetros estimados de degradabilidad de MS de hojas cetrinas usando diferentes modelos matemáticos con MATLAB.

	Parámetros						SSE	R-cuadrado	Adj R-cuadrado	Iter
	a	b	c	L	d	k				
Modelo I ³	19.48	52.29	0.0529	-	-	-	41.426	0.9892	0.9869	5
Modelo II	20.86	50.92	0.0529	0.0267	-	-	41.426	0.9892	0.9852	5
Modelo III	-196.1	51.63	0.0578	-	-	0.7732	46.014	0.9881	0.9836	109
Modelo IV	27.94	32.75	0.0632	3.156	0.0465	-	34.412	0.9911	0.9860	8

a= Fracción rápidamente soluble (%); b = Fracción de degradación lenta (%); c = Tasa de degradación constante (% / h) de la fracción "b"; L = Tiempo de retraso (h); d = Parámetro correspondiente a la tasa fraccional variable de degradación; k = Pendiente o coeficiente de tasa de degradación (h-1); SSE = Suma de cuadrados debido a error; R-Cuadrado = Cuadrado de la correlación entre los valores de respuesta y los valores de respuesta predichos; Adj R-Cuadrado = Grados de libertad Ajustado R-Cuadrado; Iter = Número de iteración de MATLAB; Modelo I= modelo de cinética de primer orden sin fase de retardo; Modelo II = modelo de cinética de primer orden con fase de retardo; Modelo III = modelo Gompertz; Modelo IV = modelo de Mitscherlich generalizado.

Tabla 2. Parámetros estimados de degradabilidad de CP de hojas cetrinas usando diferentes modelos matemáticos con MATLAB.

	Prámetro						SSE	R-cuadrado	Adj R-cuadrado	Iter
	a	b	c	L	d	k				
Modelo I	36.47	45.53	0.0459	-	-	-	38.098	0.9867	0.9838	5
Modelo II	25.95	56.04	0.0459	0.2078	-	-	38.098	0.9867	0.9818	5
Modelo III	-142	44.90	0.0506	-	-	0.7629	39.572	0.9862	0.9811	109
Modelo IV	39.54	41.45	0.0464	1.516	-0.0030	-	38.065	0.9868	0.9792	5

a= Fracción rápidamente soluble (%); b = Fracción de degradación lenta (%); c = Tasa de degradación constante (% / h) de la fracción "b"; L = Tiempo de retraso (h); d = Parámetro correspondiente a la tasa fraccional variable de degradación; k = Pendiente o coeficiente de tasa de degradación (h-1); SSE = Suma de cuadrados debido a error; R-Cuadrado = Cuadrado de la correlación entre los valores de respuesta y los valores de respuesta predichos; Adj R-Cuadrado = Grados de libertad Ajustado R-Cuadrado; Iter = Número de iteración de MATLAB; Modelo I = modelo de cinética de primer orden sin fase de retardo; Modelo II = modelo de cinética de primer orden con fase de retardo; Modelo III = modelo Gompertz; Modelo IV = modelo de Mitscherlich generalizado.

Según el modelo ajustado (modelo IV), hubo un retraso de 3,156 h en la degradabilidad. Se puede afirmar que la degradabilidad de las hojas cetrinas tarda 3.156 h en iniciarse, y esto puede deberse a la formación de partes secundarias de la pared celular en las hojas, lo que lleva a un aumento de los compuestos estructurales y un mayor contenido de lignina que dificulta el lanzamiento de la degradación microbiana.

RESULTADOS

Degradabilidad efectiva. La tabla 3 muestra el efecto principal de las hojas cetrinas para la

degradabilidad efectiva (ED) a las cinco tasas de pasaje consideradas (0.02 / h, 0.03 / h, 0.04 / h, 0.05 / h o 0.06 / h). La DE disminuyó a medida que aumentaron las tasas de expulsión porque si aumentaran las tasas de expulsión, los microorganismos del rumen no tendrían tiempo suficiente para afectar la alimentación. Según los resultados, el modelo II mostró una mayor cantidad de degradabilidad efectiva de materia seca, pero la cantidad de degradabilidad efectiva para la proteína cruda en el modelo IV fue mayor. Esto se debe al diferente comportamiento de diferentes modelos de degradabilidad de materia seca y proteína cruda.

Tabla 3. Degradabilidad efectiva estimada (DE) de materia seca y proteína cruda de hojas cetrinas utilizando diferentes modelos matemáticos.

	DM ¹					CP				
	k ² =0.02	k=0.03	k=0.04	k=0.05	k=0.06	k=0.02	k=0.03	k=0.04	k=0.05	k=0.06
Modelo I	57.43	52.85	49.26	46.36	43.98	68.18	64.01	60.80	58.26	56.21
Modelo II	57.81	53.36	49.86	47.04	44.72	64.98	59.84	55.90	52.78	50.24
Modelo III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modelo IV	52.82	50.15	48.00	46.23	44.74	68.51	64.72	61.81	59.50	57.63

DM = Degradabilidad ruminal efectiva de la materia seca; CP = Degradabilidad ruminal efectiva de la proteína cruda. k = Tasa de pasaje fraccional del rumen; Modelo I=modelo de cinética de primer orden sin fase de retardo; Modelo II=modelo de cinética de primer orden con fase de retardo; Modelo III=modelo Gompertz; Modelo IV=modelo de Mitscherlich generalizado.

DISCUSIÓN

Modelos estadísticos. La comparación de diferentes modelos para estimar los parámetros de degradación de la PC ruminal de las hojas cetrinas reveló que los modelos I y II informados

por Ørskov y McDonald (11) alcanzan la convergencia. Por el contrario, otros modelos no fueron biológicamente aceptables debido a los valores negativos estimados (Tabla 3). Dentro de los modelos ajustados, el modelo I se puede elegir como el mejor, dada la mayor cantidad de

Ajustado (r^2). Si se consideran los modelos I y II, se puede observar que los términos de la fase de rezago, cambios significativos en las fracciones "a" y "b", porque en el rango especificado, se cambió la pendiente de la curva.

Yanez Ruiz et al (15) informaron que la fracción de MS de hojas de olivo es rápidamente soluble (a) y una fracción de degradación lenta (a) fueron 28.2 y 45.2 en cabra respectivamente, y en ovejas los parámetros alcanzados fueron 29.2 y 24.0 respectivamente que fue similar a nuestros datos. Aun así, los resultados de la degradabilidad ruminal de la PC para ambas variedades animales fueron más bajos que nuestros logros. Los datos obtenidos para la degradabilidad de la DM fueron más altos que los de Elahi y Rouzbehan (16).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para los parámetros de degradabilidad de la PC estuvieron en consonancia con los datos presentados por Waghorn et al (17).

Degradabilidad efectiva. La biodegradabilidad ruminal de la PC afecta la eficiencia del uso de nitrógeno para la síntesis de proteínas microbianas. Las tasas de fermentación del almidón también pueden afectar el consumo de amoníaco al alterar el suministro de energía para el crecimiento microbiano. Se puede concluir que cualquiera de los modelos evaluados puede usarse para estimar la degradabilidad de la MS, mientras que solo los modelos I y II pueden usarse para estimar la degradabilidad de la PC

de las hojas cetrinas. Sin embargo, considerando el desempeño similar de los modelos probados, se deben tener en cuenta las características biológicas de los modelos para implementar los parámetros estimados para uso práctico. Además, las hojas cetrinas se pueden utilizar en las raciones de los rumiantes como una fuente de alimentación alternativa al forraje. Pero se requieren más estudios *in vivo* junto con investigaciones *in situ* e *in vitro* para determinar el valor nutritivo real de las hojas de los árboles para los animales rumiantes.

Se puede concluir que solo los modelos I y IV pueden usarse para estimar la degradabilidad de MS y PC de hojas de cetrino. Sin embargo, considerando un rendimiento similar de los modelos probados, las características biológicas de los modelos deben tenerse en cuenta para implementar los parámetros estimados para uso práctico. Además, las hojas de cetrino se pueden utilizar en las raciones de rumiantes como una fuente de alimentación alternativa al forraje. Sin embargo, se requieren más estudios *in vivo* e *in situ* e *in vitro* para determinar el valor nutritivo real de las hojas de cetrino para los animales rumiantes.

Conflicto de intereses

El autor declara que no tiene intereses económicos o relaciones personales en competencia que pudieran haber influido en el trabajo que se informa en este documento.

REFERENCIAS

1. Ebeid HM, Kholif AE, Chrenkova M, Anele U. Ruminal fermentation kinetics of Moringa oleifera leaf and seed as protein feeds in dairy cow diets: in sacco degradability and protein and fiber fractions assessed by the CNCPS method. *Agrofor Sys.* 2019; <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00456-7>
2. Mune MAM, Nyobe EC, Bassogog CB, Minka SR. A comparison on the nutritional quality of proteins from Moringa oleifera leaves and seeds. *Coge Food Agric.* 2016; <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1213618>
3. Obeidat BS, Kridli RT, Mahmoud KZ, Obeidat MD, Haddad SG, Subih HS, Al-Khazáleh JM. Replacing Soybean Meal with Sesame Meal in the Diets of Lactating Awassi Ewes Suckling Single Lambs: Nutrient Digestibility, Milk Production, and Lamb Growth. *Animals.* 2019; 9(4):157. <https://doi.org/10.3390/ani9040157>
4. Mishra B, Varjani S, Varma GKS. Agro-industrial by-products in the synthesis of food grade microbial pigments: An eco-friendly alternative. In *Green Bio-processes.* Springer, Singapore. 2019; https://doi.org/10.1007/978-981-13-3263-0_13

5. Palangi V, Khoshvaghti H, Sharafi Y, Eivazi P. Determination of nutritive value of Sallow and Service leaves using nylon bags and gas production techniques. *Ind J Anim Res.* 2012; 40:361-365. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-animal-research/ARCC480>
6. Palangi V, Taghizadeh A, Sadeghzadeh MK. Determine of nutritive value of dried citrus pulp various using *in situ* and gas production techniques. *J Biodivers Environ Sci.* 2013; 3:8-16. <https://innspub.net/wp-content/uploads/2013/06/JBES-Vol3No6-p8-16.pdf>
7. Palangi V, Macit M. *In situ* crude protein and dry matter ruminal degradability of heat-treated barley. *Rev Méd Vét.* 2019; 170:123-128. https://www.revmedvet.com/2019/RMV170_123_128.pdf
8. Palangi V, Macit M, Bayat AR. Comparison of mathematical models describing disappearance curves from the *in sacco* technique for incubating lucerne hay cuts in the rumen. *South Afric J Anim Sci.* 2020, 50(5):719-715. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v50i5.9>
9. Dhanoa MS, France J, Siddons RC, Lopez S, Buchanan SJG. A non-linear compartmental model to describe for age degradation kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *British J Nut.* 1995; 73:3-15. <https://doi.org/10.1079/BJN19950004>
10. France J, Thornley JHM, Lopez S, Siddons RC, Dhanoa MS, Van Soest PJ, Gill M. On the two-compartment model for estimating extent of feed degradation in the rumen. *J Theo Biol.* 1990; 146:269-287. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(05\)80139-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(05)80139-0)
11. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci.* 1979; 92:499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
12. Çavdar T, Mohammad M, Milani R A. A new heuristic approach for inverse kinematics of robot arms. *Adv Sci Lett.* 2013; 19(1):329-333. <https://doi.org/10.1166/asl.2013.4700>
13. Palangi V, Besharati M. Validation of *in situ* disappearance curves utilizing mathematical models for incubating fish meal and cottonseed meal. *Semin. Ciênc. Agrár.* 2020; 41(6Supl2): 3391-3396. <https://doi.org/10.5433/16790359.2020v41n6Supl2p3391>
14. Ørskov ER, Hovel FDB, Mould FL. The use of the nylon bag technique for evaluation of feedstuffs. *Trop Anim Prod.* 1980; 5:195-213. http://www.fao.org/WAICENT/faoINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/TAP53/53_1.pdf
15. Yanez Ruiz DR, Martin Garcia AI, Moumen A, Molina Alcaide E. Ruminal fermentation and degradation patterns protozoa population and urinary purine derivatives excretion in goats and wethers fed diets based on olive leaves. *J Anim Sci.* 2004; 82(7):2023-2032. <https://doi.org/10.2527/2004.8272023x>
16. Elahi MY, Rouzbehan Y. Characterization of quercus persica, quercus infectorica and quercus libani as ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol.* 2008; 140:78-89. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.02.009>
17. Waghorn GC, Shelton ID, McNabb WC, McCutcheon SN. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *J Agric Sci.* 1994; 123:109-119. <https://doi.org/10.1017/S0021859600067836>