

## ANÁLISIS Y COMENTARIOS

### Fistulación en bovinos y uso de la técnica de degradabilidad ruminal para análisis de alimentos<sup>1</sup>

Jorge Alberto Elizondo-Salazar<sup>2✉</sup>, Cynthia Rebeca Monge-Rojas<sup>3</sup>

#### RESUMEN

La calidad nutritiva de los alimentos o ingredientes utilizados para la alimentación de los rumiantes está en función del nivel de consumo, de la degradabilidad a nivel ruminal, de la digestibilidad, de la concentración de nutrientes y de la eficiencia con que estos pueden ser metabolizados y utilizados. Una vez ingeridos los alimentos, la degradabilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el rumen por acción de los microorganismos presentes. La degradación ruminal es crucial en el suministro de nutrientes de la dieta para satisfacer las demandas de los microorganismos y de los tejidos corporales de los animales. Por lo tanto, es esencial estudiar la dinámica de la degradación ruminal de los alimentos antes de su uso potencial para formular raciones apropiadas para los rumiantes. Entre los muchos métodos que se han utilizado en el pasado, el método *in sacco* ha sido el método más eficaz para estudiar la degradación del rumen; sin embargo, el uso de este método es cada vez menos frecuente debido a sus implicaciones para el bienestar animal. Si bien se han probado muchos métodos *in vitro* como posibles alternativas al método *in sacco*, no se ha podido eliminar la necesidad de utilizar animales fistulados para obtener el licor o líquido ruminal. La canulación del rumen se puede realizar en un animal sano con un gasto mínimo. La cirugía no es más difícil que la mayoría de los otros procedimientos quirúrgicos de rutina realizados por veterinarios. Un animal canulado o fistulado proporciona además una fuente de contenido ruminal a largo plazo que se puede utilizar fácilmente para transfaunar compañeras del hato que han sufrido diversos trastornos digestivos. El objetivo de este trabajo es presentar, de manera resumida, los diferentes pasos en la fistulación de una vaca y detallar el uso de la técnica *in vivo* o *in sacco* para determinar la degradabilidad ruminal de los alimentos o ingredientes.

**Palabras clave:** rumen, rumiantes, nutrición, *in vivo*, cánula

<sup>1</sup>Este trabajo formó parte del proyecto inscrito en la Vicerrectoría de Investigación, No. 737-B5-188. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

<sup>2✉</sup>Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia: [jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr](mailto:jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>)

<sup>3</sup>Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. [cynthia.mongerojas@ucr.ac.cr](mailto:cynthia.mongerojas@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0003-2181-0486>)

Recibido: 31 agosto 2020

Aceptado: 8 diciembre 2020

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



---

## ABSTRACT

**Fistulation in cattle and use of the rumen degradation technique for feed analysis.** Nutritional quality of feeds or ingredients used to feed ruminants depends on the level of intake, rumen degradability, digestibility, nutrient concentration, and the efficiency with which these can be metabolized and used. Once feed is ingested, degradability refers to the amount of feed that disappears in the rumen due to the action of the microorganisms. Rumen degradation is crucial in the supply of dietary nutrients to meet nutrient demands of microorganisms and body tissues of animals. Therefore, it is essential to study the dynamics of rumen degradation of feeds before their potential use to formulate nutritious diets for ruminant animals. Amongst many methods that have been used in the past, the *in sacco* method has been the most effective to study rumen degradation. However, this method is nowadays used less frequently due to its implications for animal welfare. While many *in vitro* methods have been tested as possible alternatives to the *in sacco* method, they were unable to remove the need to use fistulated animals to obtain rumen fluid. Rumen cannulation can be done on a healthy animal currently in the herd with minimal expense. The surgery is not more difficult than most other routine surgical procedures performed by veterinarians. A cannulated animal also provides a long-term, readily available source of rumen content that can be used to transfaunate herd mates that have suffered various digestive upsets. The objective of this work is to present, in a summarized way, the different steps in the fistulation of a cow, and to detail the use of the *in vivo* or *in sacco* technique to determine ruminal degradability of feeds or ingredients.

**Key words:** rumen, ruminants, nutrition, *in vivo*, cannula

## INTRODUCCIÓN

Los bovinos se pueden catalogar como cámaras de fermentación, que pueden transformar materiales, indigestibles para otros animales, en fuentes de energía aprovechables para su crecimiento y producción, y esta característica se convierte en una herramienta muy útil para diversificar su alimentación.

La cámara fermentativa está compuesta por cuatro compartimientos en los que el rumen juega un papel vital en el proceso digestivo, especialmente porque se convierte en una cámara única gracias a una población microbiana capaz de procesar el forraje, dándole a los rumiantes una ventaja sobre los monogástricos, al estar capacitados para utilizar recursos alimenticios altos en fibra por los que no tienen que competir con el hombre (Daniels y Yohe, 2014).

En el proceso digestivo, los alimentos ingeridos son sometidos a una degradación microbiana en el retículo-rumen, en la que los carbohidratos estructurales pueden ser hidrolizados, fermentados y degradados; lo que permite al animal utilizar productos de esta

degradación como ácidos grasos volátiles, fracciones de la proteína dietética y biomasa microbiana para su mantenimiento y producción (Giraldo, Gutiérrez y Rúa, 2007; Mohamed y Chaudhry, 2008).

Determinar la composición y degradabilidad de las materias primas disponibles para la alimentación de estos animales es esencial para evaluar el valor nutricional y la utilización de los alimentos, lo que se logra analizando su degradabilidad, análisis que se realiza desde hace mucho tiempo utilizando técnicas *in vivo*, *in sacco* e *in vitro*, que permiten medir la posible utilización de un determinado componente dietético (Mohamed y Shakoore, 2008). Al evaluar la degradabilidad de una materia prima o forraje, se puede estimar la proporción de nutrientes en ese alimento que pueden ser aprovechados por el animal en el proceso digestivo (Giraldo et al., 2007).

Dado que la productividad de un animal depende ampliamente de su alimentación y que esta va a estar ligada directamente con el valor nutricional de los componentes de la ración, el analizar la composición de la dieta se ha convertido en una herramienta imprescindible, con el fin de desarrollar el potencial genético de los animales.

Por lo tanto, uno de los objetivos más importantes en la nutrición de rumiantes debe ser obtener información relacionada con la función y respuesta de esta compleja cámara fermentativa en diferentes condiciones, con el fin de evaluar los productos y subproductos disponibles en el mercado.

Es precisamente por esa razón que una adecuada salud ruminal es de suma importancia para que el animal cumpla con sus funciones vitales y productivas, y la evaluación de la misma se convierte en una de las muchas razones para fistular un animal. La fístula o cánula ruminal permite ver y estudiar dentro del rumen, entre otras cosas; el funcionamiento del rumen, que tan rápido se puede degradar un alimento o ingrediente, además, se puede aprender de los microorganismos que viven dentro del mismo. La práctica de canular animales inició a finales del siglo IXX (Willes, 1972) y gracias a ello se han logrado innumerables avances como determinación del valor nutritivo de las materias primas, entender la función fisiológica del rumen, conocer la composición de la flora microbiana ruminal, estudiar como las diferentes situaciones afectan la fermentación o salud de esos microorganismos, y entender la capacidad única que tienen los rumiantes de utilizar materiales fibrosos y hacerlos disponibles para su utilización (Kristensen, Engbæk, Vestergaard, y Harmon, 2010).

La cánula es implantada quirúrgicamente y actúa como una ventana portátil que permite acceso al rumen del animal para desarrollar investigación y análisis del sistema digestivo. Un animal canulado proporciona también una fuente de contenido ruminal a largo plazo y fácilmente disponible que se puede utilizar para realizar estudios de degradabilidad *in vitro*

o para trasfaunar compañeras del hato que han sufrido algún tipo de trastorno digestivo (Laflin y Gnad, 2008).

Sin embargo, la razón de mayor peso de implantar una cánula permanente en un animal es para obtener información relacionada con las funciones y respuestas del sistema digestivo a diferentes condiciones.

A pesar de que existen muchos detractores de esta práctica y de las presiones de grupos de personas en pro de los derechos de los animales, se ha demostrado en diversos experimentos la necesidad de animales fistulados para estudios con el fin de determinar la degradabilidad ruminal y valor nutricional de los alimentos o ingredientes utilizados para alimentación (Gosselink, Dulphy, Poncet, Tamminga y Cone, 2004; Giraldo et al., 2007; Mohamed y Shakoor, 2008; Krizsan, Nyholm, Nousiainen, Südekum y Huhtanen, 2012; y Beyihayo, Omari, Namazzi, y Atuhaire, 2015).

Kristensen et al. (2010) investigaron efectos de la canulación ruminal en terneros de 10 días de edad y encontraron que no había diferencias en consumo de alimento, ganancia de peso o desarrollo ruminal al compararlos con animales no fistulados, demostrando que la canulación es un procedimiento seguro y sin implicaciones negativas en el bienestar de los animales.

La práctica de canular o fistular animales, a pesar de ser una cirugía invasiva, tiene un postoperatorio simple y los animales pueden volver a su rol normal al día siguiente del procedimiento. El objetivo de este trabajo es presentar, de manera resumida, los diferentes pasos en la fistulación de una vaca, y detallar el uso de la técnica *in vivo* para determinar la degradabilidad de los alimentos o ingredientes.

## PROCEDIMIENTO DE FISTULACIÓN

### Preparación del animal

**Ayuno:** Con el propósito de disminuir la carga de alimento en el rumen, el animal debe tener al menos 12 horas de ayuno antes de realizar el procedimiento y no más de 24 horas para no perder las relaciones topográficas durante la cirugía. El ayuno también provoca que las contracciones ruminales disminuyan, lo que resulta en menos movimiento durante la cirugía. En el periodo de ayuno, no se debe restringir el acceso al agua con el fin de mantener la hidratación del animal.

**Depilación:** Se debe depilar el área donde se va a insertar la cánula, 25 cm de largo por 20 cm de ancho, en un área localizada después de la última costilla y debajo de las apófisis transversales de las vértebras lumbares (ijar izquierdo) (Figura 1a). Se debe lavar muy bien la

zona con agua y jabón para eliminar la grasa y suciedad de la piel, previo a la desinfección quirúrgica con alcohol y yodo povidona. Una vez rasurado y limpio el lugar, se prueba y se presenta la cánula para marcar el lugar donde se va a colocar (Figura1b).



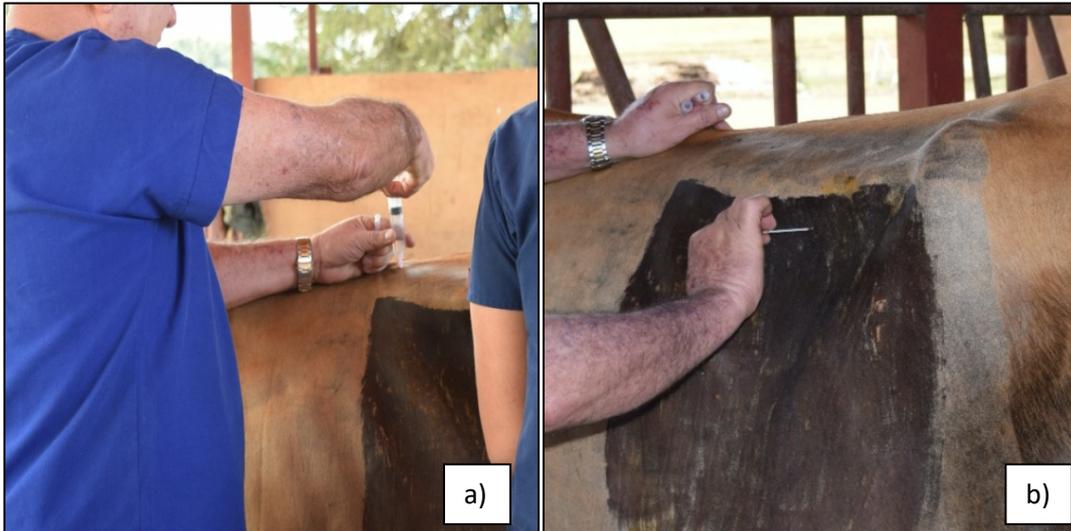
**Figura 1.** Porción depilada previa a la cirugía (a) y prueba de la presentación de la cánula (b)

Los materiales que se requieren para la cirugía son:

- Mesa pequeña para material quirúrgico.
- Marcador grueso rojo y regla normal de escuela.
- Alcohol, yodo y clorexhidina; como desinfectantes orgánicos.
- Balde con agua tibia.
- Agujas calibre 18.
- Jeringas: 5 de 20cc y 10 de 10cc.
- Antisépticos y cicatrizantes, idealmente con antibiótico como tetraciclina, neomicina o gentamicina.
- Baldes para agua y jabón antiséptico.
- Material de sutura no absorbible (nylon 8mm).
- Equipo de cirugía.

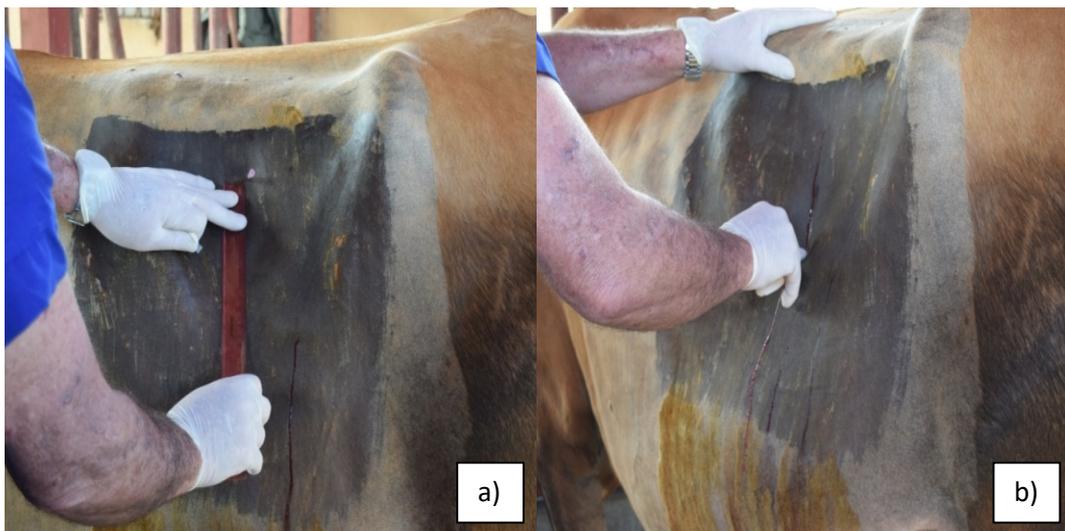
**Anestesia:** El animal se tranquiliza con una analgesia leve general endovenosa, en yugular o vena coxígea. Por motivos de seguridad, la cirugía se lleva a cabo con el animal en estación, ya que el peso del bovino, dificulta realizar el procedimiento en decúbito lateral derecho. Se anestesia localmente, previa limpieza de la zona con alcohol. Se realiza el bloqueo ubicando

la última costilla, se cuentan las lumbares y se trata de llegar a la 3<sup>ra</sup> (Figura 2a), es importante evitar las vértebras posteriores, ya que el bovino puede caerse al anestesiar esas ramas nerviosas. Se administra aproximadamente 10ml de lidocaína en cada espacio, para anestesiar las salidas de los nervios. Se coloca en el mismo sitio de punción, proyectando la aguja hacia craneal y caudal, sin retirar la aguja, para causar menos trauma, logrando una combinación de tranquilizantes con anestesia local en "L" invertida (Figura 2b).



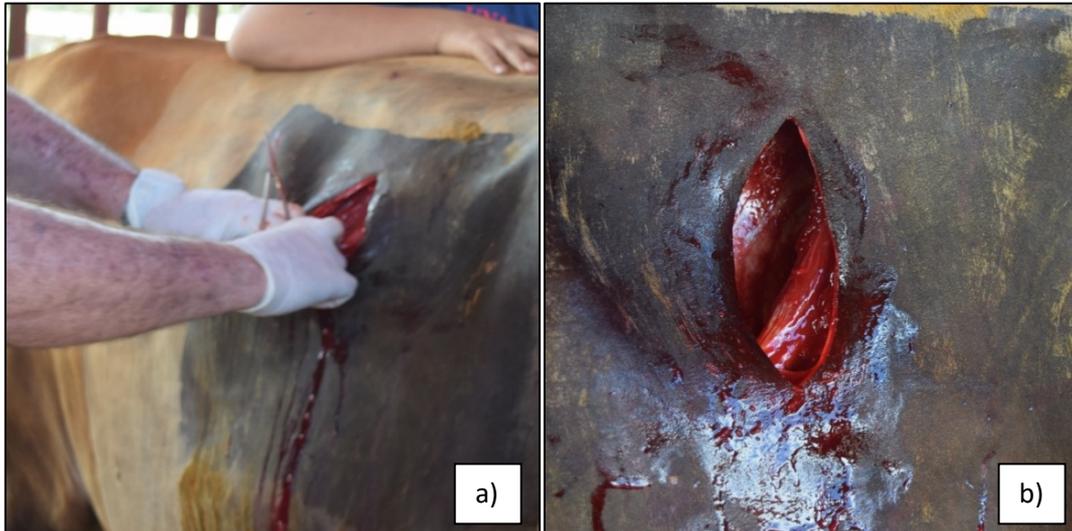
**Figura 2.** Inicio de aplicación de anestesia en las lumbares (a) y punción inicial para la administración de lidocaína en L invertida (b)

Antes de incidir, se aplica yodo para desinfectar el área y luego se marca, con regla y marcador, una línea recta de manera que, si se imagina un reloj, estaría iniciando a las 12 y terminando a las 6 (Figura 3a). Una vez desinfectado y marcado, se inicia la incisión de la piel en la parte superior con un bisturí #4 (Figura 3b).



**Figura 3.** La marca de la incisión inicia a las 12 y termina a las 6 en línea recta (a) y la primera incisión se inicia en la parte posterior sobre la línea trazada (b).

La incisión es de aproximadamente 13 cm de longitud, y luego se debridan los músculos hasta llegar al peritoneo. Una vez realizada la incisión, se debridan los músculos manualmente (Figura 4a) y cuando se ubica el peritoneo, se realiza un corte, para exponer la pared del rumen (Figura 4b). Se debe tener cuidado de no incidir el rumen para evitar la contaminación del sitio quirúrgico.



**Figura 4.** Debridación de los músculos con los dedos (a) y vista de la incisión donde el rumen queda expuesto e intacto (b).

Este tipo de cirugía no es estéril, es imposible hacerla estéril debido a que se va a abrir parte del aparato digestivo, por lo que se administran antibióticos post cirugía. Efectos secundarios producto de la cirugía son poco frecuentes, pero es posible que el animal presente una peritonitis localizada. El bovino tiene la ventaja de tener un sistema inmune bastante fuerte por lo que tolera este tipo de procedimientos de forma adecuada.

Es necesario tener la seguridad de que la incisión fue exitosa mediante la observación de la integridad del rumen desde afuera. Una vez confirmado que la incisión se realizó correctamente se prepara para iniciar con el adosamiento del rumen a la pared abdominal.

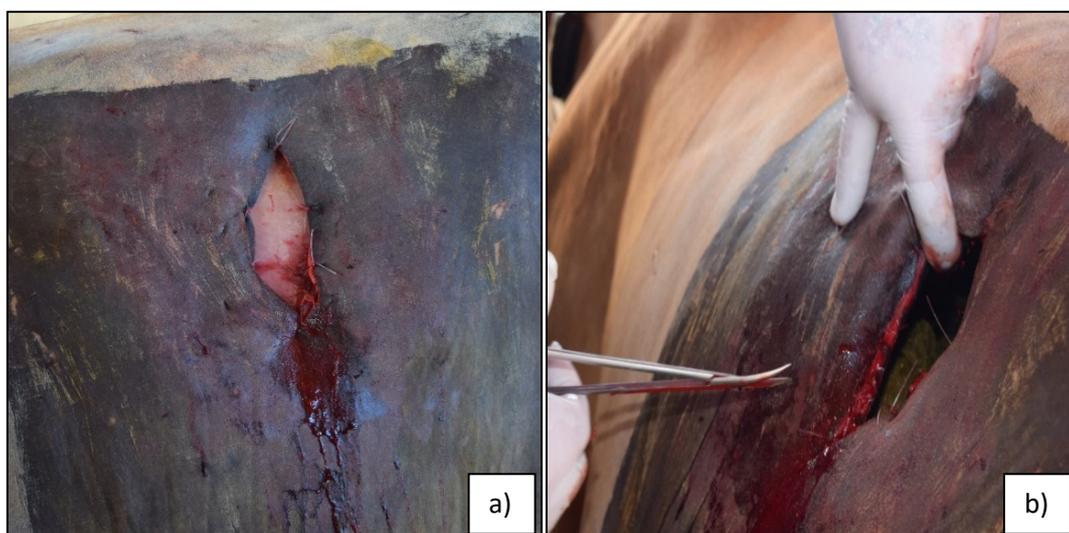
Es importante saber que debido a que se necesita crear una fibrosis para adherir la pared abdominal al rumen, se utiliza un material de sutura no absorbible, como el nylon. Materiales absorbibles como el catgut no es indicado para este tipo de cirugías, ya que favorece las infecciones y la región es más propensa a inflamarse.

Seguidamente se prepara un hilo de nylon y se procede a fijar/adosar el rumen a la pared abdominal en el orden 12, 3, 9 y 6 (imaginando un reloj) o lo que es igual a norte, este, oeste y sur (Figura 5a y 5b). Para la sutura, se utilizan agujas traumáticas por el número de capas a suturar.



**Figura 5.** Adosamiento del rumen a la pared abdominal iniciando a las 12 o norte (a) y finalizando a las 6 o sur (b).

Una vez adosado el rumen y fijado en las cuatro posiciones (Figura 6a), se procede a abrir el rumen, haciendo una incisión con el bisturí y luego se continúa con las tijeras quirúrgicas con el fin de exponer completamente el rumen (Figura 6b), para luego proceder con la inserción de la cánula.



**Figura 6.** Rumen adosado a la pared abdominal en las cuatro posiciones (a) y rumen expuesto y listo para la inserción de la cánula (b)

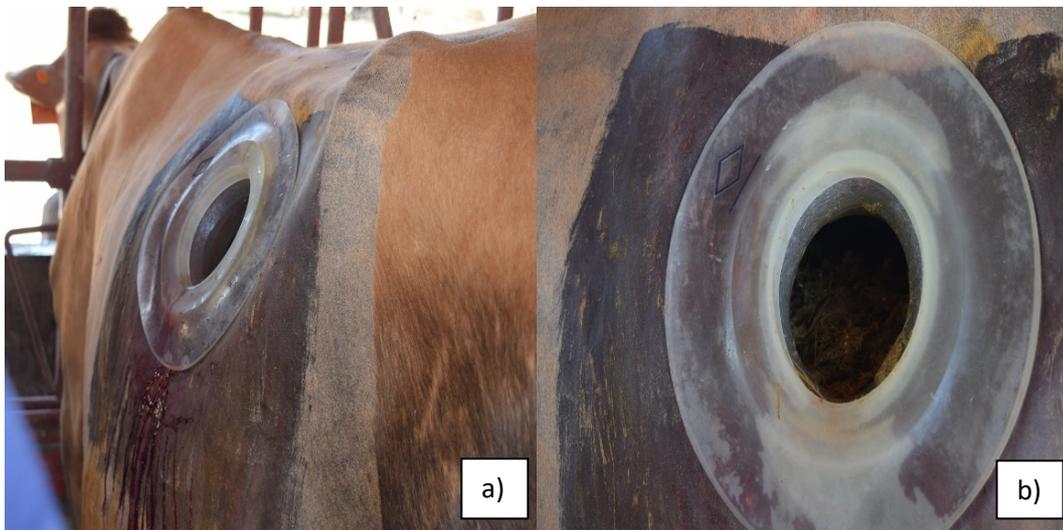
Con el rumen adosado y abierto, se procede a insertar la cánula. Existen diferentes tipos de cánulas que pueden ser rígidas o flexibles; sin embargo, la cánula flexible es la más utilizada. La cánula se debe introducir en agua tibia unos 30 minutos antes de ser introducida en el animal con el fin que sea maleable y permita su inserción. Una vez que la cánula esta suave

se debe invertir con el fin de facilitar su manipulación (Figura 7a) y volverla a meter en agua caliente hasta que se coloca en el animal. Una vez lista la cánula y el rumen, se coloca en la apertura ruminal (Figura 7b).



**Figura 7.** Inversión de la cánula (a) y colocación en la cirugía realizada (b)

Poco a poco se va trabajando la cánula hasta que queda en la posición adecuada (Figura 8) y se concluye el procedimiento colocando antibiótico tópico en la incisión para asegurar la adecuada cicatrización. Finalmente se coloca la tapa de la cánula.



**Figura 8.** Animal recién fistulado con una buena colocación de la cánula y un adecuado acceso al rumen.

---

## Postoperatorio

Durante una semana se debe limpiar muy bien alrededor de la cánula y se aplica antibiótico tópico diariamente con el fin de evitar cualquier infección. Se recomienda esperar de 22 días a 30 días antes de abrir la cánula.

Es de suma importancia indicar que este procedimiento, aunque invasivo, toma en consideración todos los aspectos relacionados con el bienestar del animal, antes, durante y después del proceso quirúrgico.

## USO DE LA TÉCNICA DE DEGRADABILIDAD *IN SACCO* O *IN SITU* PARA EVALUACIÓN DE LOS ALIMENTOS.

La técnica de degradabilidad ruminal *in sacco* se utiliza ampliamente para estimar la degradabilidad de la materia seca o de la proteína que se les suministra a los animales (Hristov et al., 2019). Al inicio se utilizaron una serie de ensayos alimenticios que, si bien no eran muy precisos, daban una idea de la calidad de los alimentos. Un gran número de los métodos actuales se basan en esas técnicas antiguas. Al avanzar el conocimiento, los métodos fueron modificados y desarrollados para mejorar la confianza y predecir más acertadamente el valor nutritivo de los ingredientes o alimentos para los animales (Ørskov, Hovell y Mould, 1980).

A pesar de que actualmente se han desarrollado una serie de procedimientos a nivel de laboratorio muy accesibles como la digestibilidad *in vitro*, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, entre otros, debido a varias limitaciones, ningún método *in vitro* ha sido aceptado como un método satisfactorio alternativo (Mohamed y Chaudhry, 2008; Hristov et al., 2019).

La técnica *in situ* se basa en la premisa de que la desaparición del sustrato de la bolsa porosa sintética incubada en el rumen, representa la degradación actual del sustrato por los microorganismos del rumen y determina la extensión y la tasa de degradación (Ørskov y McDonald, 1979).

### Importancia

La técnica es un método rápido para estimar la tasa y el grado de la degradación de los alimentos o ingredientes en el rumen, sin necesidad de ningún procedimiento complicado más que simplemente el pesado. La técnica de bolsa provee una poderosa herramienta para la evaluación inicial de los alimentos y para mejorar nuestro entendimiento del proceso de degradación que ocurre dentro del rumen (Mohamed y Chaudhry, 2008).

### Limitaciones de la técnica

Según Ørskov et al. (1980), existen tres limitaciones importantes con el uso de esta técnica:

- a. Debido a que la muestra es confinada dentro de la bolsa, no está expuesta a ningún proceso mecánico como la masticación y la rumia.
- b. El alimento puede estar disponible para liberarse en el rumen, una vez reducido a un tamaño de partícula adecuado.
- c. Lo que actualmente se mide es la reducción del material a un tamaño suficiente pequeño para salir de la bolsa y no necesariamente una degradación completa a componentes químicos sencillos. Por lo tanto, los resultados deben ser tratados con debido cuidado y, en general, ser usados como indicadores cualitativos de los principios generales.

### La bolsa o saco

Son muchos los materiales utilizados para la elaboración de bolsas. Algunos investigadores han utilizado seda fina, nylon y dacrón. El tamaño de la bolsa debe ser tal que permita que la cantidad de muestra utilizada tenga libre movimiento dentro de ella. El tamaño del poro de la bolsa es muy importante (20-40 micrones), ya que deben permitir la entrada y salida de los microorganismos del rumen y de licor ruminal, y a la vez permitir la salida de las partículas degradadas y de gases. En general, la escogencia de la tela se hace con el fin de minimizar la salida de partículas de alimento no degradadas y la entrada de partículas del medio ruminal. El tamaño óptimo depende de dos factores:

- La bolsa debe ser lo suficiente pequeña para que pueda ser fácilmente retirada del rumen. Las esquinas del fondo se deben redondear para prevenir que la muestra quede atrapada. El material para las bolsas es cortado usando un hierro de soldadura previniendo deshilachamiento y cosido con una doble costura usando hilo de poliéster.
- La bolsa debe ser proporcional al tamaño de la muestra usada para garantizar que el fluido pueda entrar fácilmente en la bolsa y mezclarse con la muestra.

### Tratamiento y preparación de la muestra

La preparación de la muestra para la incubación es crítica. Debe hacerse de tal manera que la muestra represente, hasta donde sea posible, el material como aparece en el rumen. Lo correcto sería usar los alimentos después de masticarse, mediante una cánula esofágica, pero en la práctica las muestras se muelen en un molino de martillo de laboratorio, ajustado con una criba de 2,5 a 3,0 mm.

### Tamaño de la muestra

La cantidad mínima de muestra necesaria puede ser definida como aquella que proveerá material adecuado para el análisis después de la incubación o posiblemente según la precisión de las balanzas disponibles para pesar la bolsa y la muestra. La cantidad de la muestra incubada en la bolsa dependerá también de la densidad de la muestra preparada. Generalmente se ha encontrado que se necesitan alrededor de 2 g de paja molida seca, 3 g de heno y 5 g de concentrado, tomando en consideración el tamaño de la bolsa (Ørskov et al., 1980).

### Tiempo de incubación

El tiempo necesario para la degradación completa varía según el material que se esté incubando y, por tanto, los tiempos intermedios también deben variarse. Los tiempos óptimos recomendados por Mertens (1993) para una adecuada estimación de los parámetros de degradación se presentan en el Cuadro 1. Como una guía general, los concentrados requieren de 12 a 36 h, forrajes de alta calidad 24 a 60 h y forrajes de baja calidad 48 a 72 h.

**Cuadro 1.** Tiempos de incubación (horas) recomendados para obtener estimaciones adecuadas de los parámetros de degradación en diferentes ingredientes.

Ingredientes de lenta degradación		Ingredientes de rápida degradación	
Óptimo	Mínimo	Óptimo	Mínimo
0	0	0	0
3	3	2	2
6	6	4	4
9	9	8	8
12	12	12	12
18	---	16	---
24	24	20	20
30	---	24	---
36	36	32	32
48	---	40	---
72	72	48	48
96	96	64	64

## Repeticiones

Para realizar estas pruebas, se debe utilizar más de un animal fistulado y la principal fuente de variación para la desaparición de la materia seca de las bolsas es el componente entre animales (6,2% promedio), seguida por la variación entre días (4,9%). La variación menor se ha encontrado entre bolsas (3,3%) incubadas juntas y retiradas del rumen al mismo tiempo (Mehrez y Ørskov, 1977).

## Modelos

Las bolsas con una cantidad conocida de sustrato son incubadas por diferentes tiempos en el rumen de animales canulados. Después de la incubación, las bolsas son retiradas, lavadas y el remanente es pesado y utilizado para calcular la degradación del nutriente en los diferentes tiempos (Hristov et al., 2019).

Existen diversos modelos para estimar la degradabilidad ruminal; sin embargo, el modelo de Ørskov es posiblemente el más utilizado (Ørskov y McDonald, 1979).

## Modelo de Ørskov

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

donde: Y = Degradabilidad en el tiempo "t"

a = Intercepto (degradabilidad inicial, solubilidad en licor ruminal)

b = Fracción potencialmente degradable en el rumen

c = Tasa de degradación de b

t = Tiempo de incubación

El potencial de degradabilidad está dado por a+b y representa la cantidad de material que puede disolverse y degradarse dentro del rumen si el tiempo no es el factor limitante. En otras palabras, la degradabilidad total de la muestra es a+b, la cual no puede exceder 100. Por lo tanto, 100-(a+b) representa la fracción que no se degrada en el rumen. Cuando "a" es superior a cero, quiere decir que hay componentes que se degradan rápidamente, que existen compuestos que son solubles, o que la muestra se compone de partículas suficientemente finas para escapar de la bolsa. Para saber si "a" representa la degradación rápida o sencillamente se debe a pérdidas por lavado, se utilizan bolsas testigo que se mojan con agua, se lavan y se secan normalmente. La letra "c" representa la tasa de degradación (% por hora) del material a nivel ruminal.

La degradabilidad real está dada por "Y", que representa la cantidad de material que realmente se degrada en el rumen. "Y" es variable y cuanto más baja sea la tasa de pasaje a nivel ruminal, mayor será el valor "Y". Las constantes a, b, y c se calculan por un procedimiento de mínimos cuadrados el cual requiere de programas estadísticos. Sin embargo, puede hacerse un aproximado del valor al ajustarse por apreciación una curva a los puntos experimentales, calculándose las constantes a, b y c por álgebra sencilla.

### Modelo de McDonald

$$Y = a + b(1 - e^{-c(t-t_0)}) \quad \text{para } t > t_0$$

donde: Y = Degradabilidad en tiempo "t"

a = Intercepto (degradabilidad inicial, solubilidad en licor ruminal)

b = Fracción potencialmente degradable en el rumen

c = Tasa de degradación de b

t = Tiempo de incubación

t<sub>0</sub> = Tiempo de colonización

Durante el proceso de incubación existe un periodo donde ninguna o una reducida degradación del alimento ocurre, que es conocido como tiempo de colonización (lagphase) (McDonald, 1981). De acuerdo con Allen y Mertens (1988) este tiempo de colonización es específico para cada alimento y representa el tiempo necesario para la hidratación del sustrato y la alteración física o química de la fibra que puede ser requerida antes de que las bacterias colonicen el sustrato y se inicie la actividad enzimática. La correcta determinación del tiempo de colonización depende de la adecuada estimación de la fracción soluble de los alimentos y la cuantificación de la pérdida de pequeñas partículas que puedan escapar de la bolsa en el tiempo cero.

Se ha establecido que cuando el tiempo de colonización no es considerado en el modelo, existe una linearización de la curva de degradación que resulta en una subestimación de la tasa de degradación y una sobre estimación de la asíntota.

### Dieta del animal

En este tipo de experimentos se debe considerar la dieta que consumen los animales, ya que esta tiene un efecto muy importante sobre la tasa de degradabilidad del material que se incuba. Por ejemplo, animales a los que se les ofrecen dietas con altas proporciones de almidones tendrán una actividad celulítica disminuida en el rumen. La dieta escogida

dependerá exclusivamente del propósito del experimento. Así, por ejemplo, si se quiere evaluar la degradabilidad ruminal de una ración total mezclada, a los animales fistulados se les ofrecerá la misma ración durante la ejecución de la prueba. Si se quiere evaluar ingredientes o materias primas individuales, a los animales fistulados se les ofrece raciones basadas en forrajes solamente.

### **Análisis de la información por sistemas de cómputo**

Cualquier programa de cómputo que pueda trabajar con modelos no lineales puede ser utilizado para estimar la degradabilidad, por ejemplo, el SAS, SPSS y R, entre otros. Estos programas ofrecen estimados de las constantes de degradación, precisos y no subjetivos.

### **Análisis de la información por método manual**

Los métodos manuales no son tan precisos como los programas de cómputo, especialmente si se trabajan con un número importante de datos, pero pueden dar estimaciones aproximadas de las constantes de degradación.

Para efectos de presentar un ejemplo numérico, se utilizará el modelo de Ørskov. En el Cuadro 2, se presenta información real obtenida de un ensayo de degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) de una muestra de ración total mezclada. Los datos se presentan tal y como se toman en un caso real, con el peso de la bolsa y muestra, antes y después de ser introducidas en el rumen del animal. Puede notarse que los tiempos de incubación vienen en orden inverso y esto se debe a que las muestras de mayor tiempo se introducen de primero hasta llegar al menor tiempo, y luego todas se extraen del animal en un mismo momento.

**Cuadro 2.** Valores obtenidos en un estudio de degradabilidad ruminal de la materia seca de una ración total mezclada.

Tiempo (h)	N°	Pre-incubación			Pos-incubación		Degradado (%)	Degradado Promedio (%)
		Peso bolsa (g)	Bolsa + Muestra (g)	Peso muestra (g)	Bolsa + Residuo (g)	Residuo (g)		
72	1	2,29	7,22	4,93	3,28	0,99	79,93	79,05
	2	2,23	7,27	5,04	3,29	1,06	78,89	
	3	2,23	7,23	5,00	3,25	1,02	79,56	
	4	2,25	7,34	5,09	3,53	1,28	74,80	
	5	2,27	7,42	5,14	3,23	0,96	81,43	
	6	2,30	7,33	5,04	3,32	1,02	79,70	
48	7	2,31	7,40	5,09	3,82	1,51	70,34	71,31
	8	2,29	7,24	4,94	3,71	1,42	71,27	
	9	2,22	7,29	5,07	3,53	1,31	74,23	
	10	2,28	7,26	4,98	3,72	1,44	71,03	
	11	2,29	7,23	4,94	3,57	1,28	74,01	
	12	2,28	7,09	4,81	3,87	1,59	66,96	
36	13	2,26	7,25	4,99	3,73	1,48	70,43	71,12
	14	2,26	7,23	4,96	3,70	1,44	70,98	
	15	2,29	7,29	5,01	3,66	1,38	72,53	
	16	2,25	7,25	4,99	3,59	1,33	73,32	
	17	2,26	7,37	5,11	3,82	1,56	69,46	
	18	2,29	7,30	5,01	3,79	1,50	70,01	
24	19	2,28	7,31	5,03	4,00	1,72	65,68	65,05
	20	2,28	7,32	5,04	4,03	1,75	65,34	
	21	2,26	7,20	4,94	3,94	1,68	66,05	
	22	2,30	7,41	5,10	4,32	2,01	60,57	
	23	2,29	7,39	5,10	4,08	1,79	64,92	
	24	2,26	7,32	5,06	3,89	1,63	67,75	

cont. Cuadro 2. Valores obtenidos en un estudio de degradabilidad ruminal de la materia seca de una ración total mezclada.

Tiempo (h)	N°	Pre-incubación			Pos-incubación		Degradado (%)	Degradado Promedio(%)
		Peso bolsa (g)	Bolsa + Muestra (g)	Peso muestra (g)	Bolsa + Residuo (g)	Residuo(g)		
16	25	2,24	7,37	5,12	4,61	2,37	53,72	53,51
	26	2,23	7,28	5,05	4,51	2,28	54,87	
	27	2,23	7,29	5,06	4,55	2,32	54,25	
	28	2,26	7,38	5,13	4,76	2,50	51,21	
12	29	2,25	7,19	4,94	4,63	2,38	51,78	51,08
	30	2,24	7,38	5,14	4,75	2,50	51,29	
	31	2,23	7,16	4,93	4,63	2,40	51,39	
	32	2,25	7,34	5,09	4,80	2,55	49,85	
8	33	2,25	7,34	5,09	4,74	2,49	51,05	48,44
	34	2,26	7,42	5,16	4,96	2,70	47,61	
	35	2,26	7,30	5,04	4,92	2,66	47,31	
	36	2,26	7,40	5,14	4,95	2,68	47,77	
4	37	2,26	7,35	5,09	4,96	2,70	46,83	47,26
	38	2,26	7,34	5,07	4,84	2,58	49,12	
	39	2,28	7,43	5,15	5,03	2,75	46,64	
	40	2,30	7,16	4,86	4,90	2,60	46,44	
2	41	2,34	7,43	5,09	5,04	2,70	46,90	45,64
	42	2,27	7,42	5,15	5,14	2,86	44,37	
0	43	2,29	7,44	5,16	5,23	2,94	42,99	43,74
	44	2,28	7,33	5,06	5,08	2,81	44,49	

En el Cuadro 3 se presentan los datos resumen de degradabilidad ruminal obtenidos para los diferentes tiempos de incubación y extraídos del Cuadro 2.

**Cuadro 3.** Cuadro resumen de un estudio de degradabilidad ruminal promedio para cada tiempo de incubación.

Tiempo de incubación, horas	Degradabilidad ruminal promedio, %
0	43,74
2	45,64
4	47,26
8	48,44
12	51,08
16	53,51
24	65,05
36	71,12
48	71,31
72	79,05

La asíntota (a+b) representa el potencial de degradabilidad, que para este ejemplo es de 79,05%. El intercepto de la curva está representado por "a" e indica la degradabilidad de la MS en el tiempo 0 horas. El intercepto en este caso es 43,74%. El valor de "b" se puede calcular como la diferencia entre la asíntota (a+b) y el intercepto (a), en este ejemplo  $b = 79,05 - 43,74 = 35,31\%$ .

Si se trata de despejar la variable "c", se tiene:

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

$$\frac{Y - (a + b)}{-b} = e^{-ct} = Y'$$

Obteniendo el logaritmo natural a ambos lados de la ecuación se tiene:

$$\ln Y' = \ln e^{-ct}$$

$$\ln Y' = -ct$$

$$\text{Entonces } c = \frac{\ln Y'}{-t}$$

Aplicando los datos de nuestro ejemplo para todos los tiempos, se obtiene en promedio que:

$$c = 0,02788.$$

Este valor indica que la tasa de degradación de la materia seca (potencialmente degradable en el rumen) fue de 2,788% por hora.

Los valores de degradabilidad reales y los estimados, utilizando el valor de  $c = 0,02788$  para los diferentes tiempos en la ecuación original se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Comparación de datos de degradabilidad ruminal real y estimado para cada tiempo de incubación.

Tiempo, h	Degradabilidad ruminal real, %	Degradabilidad ruminal estimada manualmente, %
0	43,74	43,74
2	45,64	45,66
4	47,26	47,47
8	48,44	50,80
12	51,08	53,78
16	53,51	56,45
24	65,05	60,97
36	71,12	66,11
48	71,31	69,79
72	79,05	74,31

Tal y como se indicó anteriormente, con el método manual puede que los valores obtenidos no sean tan precisos como los que se puedan obtener con programas de cómputo, pero brindan estimaciones muy aproximadas de los valores reales de degradación. Puede notarse, que la mayor diferencia (5,01 puntos porcentuales) entre la degradabilidad ruminal real y la estimada se da a las 36 horas de incubación.

### CONSIDERACIONES FINALES

El rumen (a veces considerado como el retículo-rumen) contiene microorganismos que son particularmente efectivos en la digestión de fibras, lo que les permite a los rumiantes sobrevivir en condiciones nutricionales de mala calidad. El rumen se considera un fermentador anaeróbico continuo que se mantiene a temperatura constante y los alimentos o ingredientes son fermentados por acción de los microorganismos para producir principalmente ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono y metano. Conocer un poco acerca del funcionamiento del rumen mediante el uso de la técnica *in sacco* de degradabilidad ruminal permitirá elaborar mejores raciones que ayuden a satisfacer los requerimientos nutricionales de los microorganismos ruminales y del animal hospedero para mejorar tanto los rendimientos productivos como reproductivos.

---

**LITERATURACITADA**

- Allen, M.S., & Mertens, D.R. (1988). Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition*, 118, 261-270.
- Beyihayo, G.A., Omaria, R., Namazzi, C., & Atuhaire, A. (2015). Comparison of in vitro digestibility using slaughtered and fistulated cattle as sources of inoculum. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, 16(1), 93-98.
- Daniels, K.M., & Yohe, T.T. (2014). What do we know about rumen development? Tri State Dairy Nutrition Conference. Pp53-59.
- Giraldo, L.A., Gutiérrez, L.A., & Rúa, C. (2007). Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 269-279.
- Gosselink, J.M.J., Dulphy, J.P., Poncet, C., Tamminga, S., & Cone, J.W. (2004). A comparison of in situ and in vitro methods to estimate in vivo fermentable organic matter of forages in ruminants. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 52(1), 29-45.
- Hristov, A.N., Bannink, A., Crompton, L.A., Reynolds, C.K., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Schwarm, A., McGee, M., Nozière, P., Bayat, A.R. Shingfield, K.J., Yáñez-Ruiz, D.R., Dijkstra, J., Kebreab, E., & Yu, Z. (2019). Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5811-5852. doi:10.3168/jds.2018-15829
- Kristensen, N.B., Engbæk, M., Vestergaard, M., & Harmon, D.L. (2010). Ruminant cannulation technique in young Holstein calves: Effects of cannulation on feed intake, body weight gain and ruminal development at six weeks of age. *Journal of Dairy Science*, 93, 737-742.
- Krizsan, S.J., Nyholm, L., Nousiainen, J., Südekum, K.H., & Huhtanen, P. (2012). Comparison of in vitro and in situ methods in evaluation of forage digestibility in ruminants. *Journal of Animal Science*, 90, 3162-3173.
- Lafin, S.L., & Gnad, D.P. (2008). Rumen cannulation: Procedure and use of a cannulated bovine. *The Veterinary Clinics of North America. Food animal practice*, 24(2), 335-340. doi:10.1016/j.cvfa.2008.02.007
- McDonald, I.M. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. *Journal of Agricultural Science*, 96, 251-252.
- Mehrez, A.Z., & Ørskov, E.R. (1977). A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 88, 645-650.
- Mertens, D.R. (1993). Rate and extent of digestion. In: Forbes, J.M., & France, J. (eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. UK, CAB International.

- Mohamed, R., & Chaudhry, A.S. (2008). Methods to study degradation of ruminant feeds. *Nutrition Research Reviews*, 21, 68-81. doi:10.1017/S0954422408960674
- Mohamed, R., & Shakoor, C. (2008). Methods to study degradation of ruminant feeds. *Nutrition Research Reviews*, 21, 68-81.
- Ørskov, E.R., Hovell, F.D., & Mould, F. (1980). The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, 5(3), 195-212.
- Ørskov, E.R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92, 499-503.
- Willes, R.F. (1972). Permanently installed digestive cannulae. *Journal of Dairy Science*, 55(8), 1188-1190.