



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

TESIS

**CINÉTICA DE DIGESTIÓN DE DIETAS PARA CAPRINOS ADICIONADAS CON
HARINA DEL FRUTO SECO DE CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria*).**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

QUE PRESENTA:

ANGÉLICA MARÍA SOLÍS DE LA SANCHA

DIRECTOR DE TESIS

DR. ROLANDO ROJO RUBIO

CO-ASESOR

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA

TEMASCALTEPEC DE GONZÁLEZ, MÉXICO; FEBRERO 2024.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	11
JUSTIFICACIÓN	14
MARCO TEÓRICO	15
4.1 Utilidad de los árboles y arbustos.....	15
4.2 Funciones productivas de los árboles.	15
4.3 Valor nutritivo de los árboles y arbustos.....	16
4.4 Leguminosas	16
4.4.1 Leguminosas en nutrición animal	17
4.4.2 Importancia en la alimentación de rumiantes	17
4.5 Cascalote (Caesalpinia coriaria).....	17
4.5.1 Clasificación taxonómica	18
4.5.2 Descripción botánica.....	18
4.5.3 Composición química.....	20
4.5.4 Otros componentes del cascalote.....	21
4.5.5 Usos del cascalote	22
4.5.6 Uso en la nutrición de rumiantes	23
4.6 Taninos	23
4.6 Anatomía, fisiología y microbiología del sistema digestivo del rumiante.....	24
4.6.1 Anatomía y fisiología del aparato digestivo del rumiante.....	24
4.6.2 Microbiología del rumen.....	27
4.7 Degradabilidad	31
4.7.1 Definiciones de degradabilidad.....	31
4.7.1 Técnicas para determinar la tasa de degradabilidad	31
4.8 Digestión, absorción y excreción en rumiantes.	35
4.8.1 Definición de digestión.....	35
4.8.2 Secreciones del tracto digestivo que contribuyen a la digestión.	35
4.8.3 Reparto de la digestión	37
4.8.4 Absorción del tracto digestivo.	39

4.8.5 Excreción y composición de heces y orina.....	40
4.8.4 Digestibilidad.....	42
HIPÓTESIS.....	45
OBJETIVOS.....	46
6.1 Objetivo general.....	46
6.2 Objetivos específicos.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
7.1 Sitio experimental.....	47
7.2 Material y equipo utilizado.....	48
7.3 Dietas experimentales utilizadas y su Análisis Químico Proximal.....	48
7.3.1. Análisis Químico Proximal.....	50
7.4 Variables respuesta y duración del experimento.....	50
7.5 Procedimiento.....	51
7.5.1. Recolección y procesado del material vegetativo.....	51
7.5.2. Preparación de la dieta experimental.....	51
7.5.3. Dieta para la vaca.....	53
7.5.4. Animal experimental.....	55
7.5.5. Técnica <i>in situ</i>	56
7.5.6. Análisis Químico Proximal.....	58
7.6 Análisis de datos.....	69
RESULTADOS.....	70
8.1 Caracterización del análisis químico proximal.....	70
8.2 Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca (DISMS).....	72
DISCUSIÓN.....	76
9.1 Análisis químico proximal del fruto seco del cascalote (<i>Caesalpinia coriaria</i>) y dietas experimentales.....	76
9.2 Digestibilidad <i>in situ</i> de la materia seca (DISMS).....	78
CONCLUSIÓN.....	81
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS.....	90
RESULTADOS NLINMODELOM.SAS.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq) Willd.	18
Cuadro 2. Calendario de <i>Caesalpinia coriaria</i> (Cordero & Boshier, 2003).	19
Cuadro 3. Constituyentes químicos del fruto y follaje de <i>Caesalpinia coriaria</i>	20
Cuadro 4. Muestra los resultados comparativos de análisis nutrimental del fruto del cascalote de diversos investigadores a través de los años.	21
Cuadro 5. Resultados de degradabilidad ruminal de la materia seca de <i>Caesalpinia coriaria</i> de diversos autores.	21
Cuadro 6. Principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustratos que fermentan.	28
Cuadro 7. Composición química de los diferentes componentes de la dieta experimental.	49
Cuadro 8. Nivel de inclusión de ingredientes de dietas experimentales (%) y su composición química calculada.	49
Cuadro 9. Muestra las cantidades utilizadas para formar las dietas a medio kilo.	52
Cuadro 10. Muestra los ingredientes utilizados y su nivel de inclusión en la dieta para la preparación de la vaca.	53
Cuadro 11. Ingredientes y cantidades utilizadas a 200 kilos para preparar la dieta de la vaca.	54
Cuadro 12. Reactivos para la preparación de solución detergente neutra.	64
Cuadro 13. Análisis bromatológico obtenido del fruto seco del cascalote (<i>C. coriaria</i>) (%BS)...	70
Cuadro 14. Caracterización bromatológica de las cuatro dietas experimentales utilizadas (%BS).	71
Cuadro 15. Composición química nutricional de dieta típica para alimentar la vaca (%BS).	71
Cuadro 16. Porcentaje promedio de degradabilidad ruminal in situ de la materia seca de las dietas en los diferentes tiempos de incubación.	72
Cuadro 17. Parámetros de cinética ruminal de la MS (materia seca) de dieta basal para caprinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco de cascalote (<i>Caesalpinia coriaria</i>) en 9 tiempos de incubación.	73
Cuadro 18. Resultados del AQP del fruto del cascalote de varios autores y lo obtenido en esta investigación.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción botánica del cascalote.....	19
Figura 2. Estratificación del alimento en el interior del rumen.	25
Figura 3. Anatomía del sistema digestivo de los rumiantes.....	27
Figura 4. Método de Tilley and Terry	33
Figura 5. Técnica in situ, incubación de bolsas en el rumen.	34
Figura 6. Técnica en vivo en sistemas tecnificados.....	35
Figura 7. Técnica en vivo en sistemas rustico.	35
Figura 8. Partes del tracto digestivo y productos finales de la digestión en los rumiantes (Merchen, 1993).	37
Figura 9. Centro Universitario UAEM Temascaltepec	47
Figura 10. Área de bovinos en la posta zootécnica del CU UAEM Temascaltepec.	47
Figura 11. Semilla de cascalote y molino de Wiley.....	48
Figura 12.. Molienda del fruto seco del cascalote.....	51
Figura 13. Compra de ingredientes de la dieta.	51
Figura 14. Pesado, mezclado y molido de muestras de dieta experimental.....	53
Figura 15. Mezcla de ingredientes de la dieta para la alimentación y preparación de la vaca. ...	54
Figura 16. Vaca Holstein-Pardo suizo fistulada ruminalmente.	55
Figura 17. Vaca consumiendo la ración proporcionada.....	56
Figura 18. Bolsas en cajas pétri antes de	56
Figura 19. Sellando las bolsas.	57
Figura 20. Momentos de la incubación de las muestras en los diferentes tiempos.....	58
Figura 21. Muestras sometidas a secado.	59
Figura 22. Muestras antes de encender la mufla y después de haber pesado las cenizas.....	60
Figura 23. Lavado de muestras con éter de petróleo para desengrasar en equipo Soxhlet.	61
Figura 24. Muestras encendidas en horno para su digestion.	62
Figura 25. Preparación de muestra agregando ácido bórico.....	63
Figura 26. Muestras en destilación.	63
Figura 27. Instantes antes, durante y después de la titulación con ácido clorhídrico.	63
Figura 28. Muestras lavando con solución detergente neutra.	65
Figura 29. Muestras en lavados con agua.	65
Figura 30. Muestras sumergidas en acetona.....	65

Figura 31. Muestras lavándose en solución acida, después en acetona finalmente se colocó a secar al aire libre para pasar después a la estufa de secado.....	66
Figura 32. Ácido Sulfúrico al 72 %.....	68
Figura 33. Muestras en ebullición.....	68
Figura 34. Muestras en baña maría con agitación constante durante 2 h.....	68
Figura 35. Graficas integrales de (D1, D2, D3, D4) de cinética de degradación ruminal in situ de la MS, de dieta típica para caprinos adicionada con diferentes porcentajes de harina del fruto seco del cascalote <i>Caesalpinia coriaria</i>	74
Figura 36. Representación gráfica integral de (D1, D2, D3, D4) de la degradabilidad in situ de la MS predichas según el modelo matemático de Ørskov & McDonald (1979) de dieta típica para caprinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco del cascalote.	75

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la composición química y degradabilidad *in situ* de la materia seca del fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*) como aditivo para ser utilizado en dietas para caprinos en crecimiento. La composición química se realizó de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) determinando porcentajes de Humedad (%H), Materia Seca (%MS), Cenizas (%C), Proteína cruda (%PC), Extracto Etéreo (%EE), Fibra Detergente Neutra (%FDN), Fibra Detergente Acida (%FDA). Para la evaluación *in situ* se utilizó una vaca F1 (Holstein-Pardo suizo), de 530 ± 3 kg de PV, fistulada ruminalmente y alimentada con una dieta cuya proporción forraje: concentrado fue (50:50). Empleándose la técnica de bolsas de nailon suspendidas en rumen a 9 tiempos de incubación (0, 4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 y 72 hrs), ingresando 4 dietas experimentales que se diferencian por el nivel de inclusión del fruto de *Caesalpinia coriaria* (D1= dieta base con 0% C.c.; D2= dieta base con adición 2.5% C. c.; D3= dieta base con adición 5% C. c.; D4= dieta base con adición 7.5% C. c.) usando bolsas Ankom Technology R510 dimensiones de 5 cm x 10 cm con porosidad de 50 ± 10 micras en las cuales se depositaron 3 gramos de muestra de cada una las dietas experimentales por duplicado para cada tiempo de incubación. Los datos obtenidos se ajustaron al modelo descrito por Ørskov y McDonald (1979) para establecer los parámetros de la fracción soluble (a), fracción insoluble pero completamente degradable (b) y la tasa de degradación de la fracción b^{nt} (c). Los resultados del análisis químico proximal de MS, PC, C, EE, FDN y FDA del fruto indicaron contenidos porcentuales del 94.4, 5.95, 2.48, 1.4, 8.0 y 4.3, respectivamente. En la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS, las 4 dietas no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) ya que la degradabilidad presentó porcentajes de (85 y 84) a las 72 hrs. Los parámetros generados no muestran diferencias en la fracción soluble (a), pero si indican diferencias significativas en la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b). En dietas con inclusión del 5% y 7.5% del fruto de *C. coriaria* la degradabilidad ruminal disminuye. La inclusión del 2.5% de fruto en la dieta mantiene su degradación ruminal normal y no modifica significativamente los parámetros. Por lo que se concluye que hay una correspondencia entre la composición química del fruto y la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS de la dieta, cuyos efectos dependerán del nivel de inclusión del fruto en la dieta.

INTRODUCCIÓN

La actividad pecuaria en México se deriva de la ecología de sus lugares debido a sus características edáficas, topográficas y climáticas, así de la gran variedad de flora y fauna existente, principalmente de especies vegetales (González & Durand, 1998). Las especies forrajeras se dividen en dos familias: gramíneas y leguminosas que son fuente importante de alimento para el ganado y fauna silvestre primordialmente durante la época de lluvias ya que en época de secas no presentan producción de biomasa disminuyendo su calidad nutritiva (Club Ganadero, 2022).

Las leguminosas se dividen en 3 subfamilias en base tipo flor que presentan: *Caesalpinioideae*, principalmente árboles, *Papilionoideae* malezas y *Mimosoideae* árboles pequeños y arbustos (Universidad Politécnica de Valencia, 2003) las cuales se diferencian de otras especies por sus frutos contenidos en vainas, la propiedad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo (Reynoso, 2016). Además de proporcionar follaje y los frutos durante la estación seca. Dentro de los múltiples usos podemos mencionar: leña, postes, sombra, cercas vivas, medicamentos, consumo humano, material para artesanías y madera (Olivares *et al.*, 2011).

Las leguminosas son fuente importante de proteína y carbohidratos, principalmente en los frutos. En nutrición animal se pueden considerar 2 grupos: leguminosas forrajeras y leguminosas grano, las cuales se utilizan para sustituir fuentes de proteínas tradicionales de origen animal, en la dieta de los rumiantes. Sin embargo, se ha restringido su uso debido a la presencia de metabolitos secundarios (inhibidores de proteasas, saponinas, glucósidos, lectinas, taninos, alcaloides), así como sus altos niveles de fibra (polisacáridos no amiláceos) y a la escasa información disponible acerca de su valor nutritivo (Rubio & Molina, 2016).

En la actualidad se han incrementado investigaciones con diferentes aditivos dentro de los más comunes están los ionóforos, antibióticos, enzimas y extracto de plantas a fin de mejorar el metabolismo de nutrientes en los rumiantes (García & García, 2015). En los extractos vegetales se han realizado pruebas con metabolitos secundarios, sobresaliendo los taninos condensados libres porque mejoran la digestibilidad de la proteína cruda y aumenta los niveles de nitrógeno amoniacal (Olmedo *et al.*, 2015).

Conocer la degradabilidad y digestibilidad de los alimentos es fundamental para establecer su valor nutritivo y para la formulación de raciones para rumiantes (Bochi *et al.*, 1999) *con* recursos existentes en la región. La tasa de degradabilidad de un alimento se obtiene a través de métodos que se utilizan en química para simular la digestión ruminal y degradabilidad, entre estos esta: determinación química y bioensayos (*in vivo*, *in situ*, *in vitro*).

El cascalote (*Caesalpinia coriaria*) es un árbol de leguminosa, leñoso y chato, originario de las Antillas, norte de Suramérica, Centroamérica y sur de México. El fruto es una vaina enroscada en forma de S y carnosa, color marrón cuando están maduros (UEIA, 2014).

Dentro de las unidades de producción pecuaria existen árboles y arbustos de leguminosas con alto porcentaje de proteína cruda que no se utilizan al máximo en la alimentación de rumiantes, debido a que no se conoce mucho sobre degradabilidad ruminal de plantas que contienen metabolitos secundarios y que pueden utilizarse como suplementos en las dietas. Es por ello, que el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la degradabilidad *in situ* de dieta adicionada con diferentes porcentajes de harina de frutos secos de *C. coriaria* para caprinos en crecimiento.

ANTECEDENTES

En el sur del Estado de México, los animales se alimentan a base de pastoreo, consumiendo principalmente *C. plectostachyus*; sin embargo, en los potreros existe una gran diversidad de especies forrajeras que representan una fuente adicional de alimento, las cuales tienen metabolitos secundarios que mejoran la fermentación ruminal Estrada *et al.*, (2012).

Estudios sobre el comportamiento de especies vegetales consumidas por caprinos, el cascalote junto a otras 5 especies más, representa el 80 % de plantas seleccionadas durante la estación seca. Donde *Caesalpinia coriaria* destaca por su buena producción de biomasa Román, (2001).

Campos, (2020) en el análisis bromatológico del fruto del cascalote indica que contenido de materia seca fue de 99.6%, la proteína es de 8.14 %, cenizas de 0.10% y extracto etéreo de 2.17 %. Y menciona que la inclusión de taninos condensados de *Caesalpinia coriaria* tuvo efectos variables sobre la producción de gas y que la inclusión del 3% en la dieta puede ser ecológica y nutricionalmente eficiente.

Mientras que en su investigación sobre composición química y degradabilidad ruminal en frutos de especies de leguminosas arbóreas Ceconello *et al.*, (2003) expone que en la composición química del fruto completo de *Caesalpinia coriaria* obtuvo un % PC de 4.09, % Ceniza de 2.54, % EE de 0.99; % FDN de 18, % FDA de 13 y lignina de 5%. Explica que el porcentaje de proteína obtenido es bajo al nivel de proteína (6%) recomendado para vacunos en mantenimiento por NRC (1981).

Y en cuanto a la degradabilidad reportó para los frutos completos un 23.81% de la fracción de MS rápidamente degradable, 44.54 % de fracción MS lentamente degradable y una degradabilidad efectiva de 64%. También reporta la especie *E. cyclocarpum* tuvo fracción degradable (67,36%). Y por ello comenta que pueden ser considerados como un alimento importante para la dieta de los rumiantes que pastorean en el bosque deciduo tropical durante los períodos de verano, por su elevado contenido de proteína y extracto libre de nitrógeno.

Por sus elevados contenidos de Calcio, Fosforo, Magnesio, Azufre y Cobre en los frutos de leguminosas arbóreas, estos representan una fuente importante de elementos minerales para aminorar deficiencias de estos elementos que no son aportados por los pastos durante el periodo seco Cecconello *et al.*, (2003).

Rodríguez, (2016) citado por Palma (2018), comentan que la degradabilidad ruminal de la materia seca de *C. coriaria* es 87.25 % Fracción soluble a, 7.54% Fracción degradable b, 94.80 % Fracción a + b y 0.068 %/h de fracción C.

Tasas de degradación inferiores a 0.02 h^{-1} son característicos de alimentos de baja calidad que necesitan mayor tiempo de permanencia en el rumen para su degradación Araiza *et al.*, (2013).

Fernández, (2020) al evaluar el efecto de los TC sobre DISMS del almidón del grano de sorgo, comenta que la presencia de taninos condensados en el grano produjo una disminución en la degradabilidad ruminal de la materia seca y que las concentraciones altas 5 – 10 % de taninos deprimen la digestibilidad del forraje.

Por su parte, Giraldo *et al.*, (2007), reportó en su investigación la degradabilidad verdadera *in vitro e in situ* de la materia seca de forrajes, valores promedios oscilantes de 59.61 – 89.78 % DVIVMS y de 53.68 – 84.36 % DISMS, siendo la especie forrajera arbustiva San Joaquín con mayor degradabilidad *in situ* de 84.36% a ($p < 0.05$).

En su estudio Manuel, (2018) señala que la suplementación del fruto de cascalote en zonas donde hay escasez de forraje no altera variables productivas, fermentación ruminal ni rendimiento ni características de la canal en caprinos.

Román *et al.*, (2008), en su trabajo de investigación menciona que al evaluar la degradabilidad *in situ* de la materia seca de la harina del fruto de la guácima, *Guazuma ulmifolia Lam.*, con dietas de harina de frutos de tres leguminosas: tepame (*Acacia pennatula*), cascalote (*Caesalpinia coriaria*), vainillo (*Senna atomaria*) y una *Rhamnaceae*, asmol (*Zizyphus mexicana*), en la degradación ruminal el valor más bajo se presentó cuando se le proporcionó el fruto de *G. ulmifolia* con 40,1%. Sin embargo,

se observaron efectos positivos con las otras dietas, presentando el valor más alto cuando se le ofertó *C. coriaria* de 50,4%.

En su investigación *in vivo* García *et al.*, (2022), comenta que al incluir el 10% de harina del fruto seco de *Caesalpinia coriaria* en dieta de caprinos, se puede observar un 78.6% en la eliminación de huevos de *Haemonchus contortus*. Por lo que recomienda nivelar la inclusión de frutos secos para su uso en el manejo de la nematodiasis en rebaños caprinos.

JUSTIFICACIÓN

El reto de los productores agropecuarios es alcanzar y asegurar la seguridad alimentaria, mediante la producción de alimentos frescos, inocuos y de calidad (FAO, 2019). Uno de los principales problemas que limitan la producción pecuaria en México es el estado nutricional de los animales, principalmente rumiantes, debido a que la mayoría de los productores alimentan su ganado en forrajes que presentan crecimiento estacional, lo cual limita su producción sobre todo en época seca, debido a que el forraje disponible es escaso, con alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína y energía. La carencia de forrajes obliga a los productores a comprar suplementos alimenticios caros para incorporarlos a las dietas, elevando así los costos de producción y haciendo a la actividad ganadera poco rentable (Rojo *et al.*, 2014).

Ante la necesidad de tener opciones de forrajes o suplementos que sustituyan el uso de proteínas tradicionales a bajo costo, se han realizado estudios en algunos árboles y arbustos de regiones tropicales, destacando las leguminosas, como una fuente importante de proteína y carbohidratos contenidos en los frutos y semillas. La evaluación de los frutos implica un avance en reconocerlos como fuente de alimento (Palma y Román, (nd). Aunque en la actualidad su uso se está incrementando aún falta mucho para que se reconozca la importancia que tienen las leguminosas en la nutrición de rumiantes (Olivares *et al.*, 2011).

Una forma de expandir el conocimiento y aprovechamiento de especies de leguminosas que pueden ser integradas a los sistemas de producción, es mediante su valoración nutrimental a través de análisis químicos o bioensayos, determinando parámetros de degradabilidad y digestibilidad (Alatorre *et al.*, 2018).

Por lo anteriormente mencionado, el presente proyecto evaluó la degradabilidad *in situ* de la MS de dieta para caprinos adicionada con harina del fruto seco de *C. coriaria*. Con el fin de conocer la cinética de digestión ruminal de la dieta a través del tiempo, y analizar las fracciones potencialmente degradables, así saber si afecta o mejora ésta leguminosa el valor nutritivo de una dieta basal para caprinos.

MARCO TEÓRICO

4.1 Utilidad de los árboles y arbustos

Las especies vegetales, como los árboles y arbustos en la naturaleza son esenciales para la vida del planeta (Isan, 2017). En la actualidad, debido al uso inapropiado de los recursos naturales se realizan investigaciones para un manejo integral y racional de estos en la Sombra para el hombre y los animales

- ✓ Humedad en el ambiente, mediante la transpiración al generar vapor de agua.
- ✓ Refugio a todo tipo de organismo vivo.
- ✓ Alimentos tanto para el hombre como para los animales y diferentes recursos.
- ✓ Equilibrio en el ciclo hidrológico mundial.
- ✓ Oxígeno al aire y reducen la contaminación a través de la intervención en el ciclo del carbono (Fotosíntesis).
- ✓ Moderan el clima en las diferentes regiones geográficas
- ✓ Fertilidad en los suelos, previene la erosión y retienen humedad en estos (Cuadra, 2008; Fundación Gondwana para el Desarrollo Sostenible, 2012).

Los árboles utilizados para la nutrición animal, se denominan árboles forrajeros y estos a su vez se llaman árboles multipropósitos porque son utilizados para varios fines, en la región de tierra caliente de Michoacán, González *et al.*, (2006) menciona las siguientes especies con mayor uso; *Cordia elaeagnoides* con 64.3 %, seguido de *Crescentia alata* 54.4 %, *Haematoxylon brasiletto* 52.8 %, *Ziziphus amole* 46.1 %, *Pithecellobium acatlense* 45.6 %, *Guazuma ulmifolia* 45.2 %, *Pithecellobium dulce* 42 %, *Caesalpinia coriaria* 40,6 %, *Acacia macilenta* 38,5 %, *Leucaena leucocephala* 36,95 %, *Mastichodendron capiri* 33,7 % y *Lysiloma divaricata* 33,5 %.

4.2 Funciones productivas de los árboles.

Los árboles y arbustos contribuyen a la producción de alimentos siempre y cuando estos o parte de ellos sean comestibles (flores, frutos, hojas, retoños, yemas), que pueden ser utilizados directamente por el hombre o indirectamente por los animales.

La importancia cuantitativa y cualitativa de estas fuentes de alimentos en la mayoría de los casos aún es desconocida y su potencial se explota inadecuadamente. Además de forrajes y alimentos, los árboles suministran productos madereros, aceites, resinas, condimentos, medicinas y otros (Fundación Gondwana para el Desarrollo Sostenible, 2012).

4.3 Valor nutritivo de los árboles y arbustos.

El fruto y el follaje de árboles y arbustos es una fuente valiosa ya que puede mejorar la calidad de las dietas de los rumiantes particularmente en regiones tropicales donde la calidad de las gramíneas forrajeras es baja (Ramírez *et al.*, 2012). Como es el caso de *Guazuma ulmifolia*, *Caesalpinia coriaria*, donde esta última especie presentó en un estudio valores de 87.27 % de MS, 6.12 % de PC, 43.87 % de FDN y 11.03 % de FDA (Román, 2001).

Dependiendo de los lugares en México existen gran cantidad de árboles y arbustos que se utilizan como fuente de alimento para los animales, sobre todo rumiantes. Entre estas especies predominan las leguminosas, donde sus frutos son un recurso importante de alimento en época seca como *Acacia acatlensis*, *A. macracantha* y *Caesalpinia coriaria* importante por su alto contenido de taninos en los frutos (33,00 y 7,3 % de taninos pirogálicos y catequínicos. respectivamente) y por su uso forrajero en los agostaderos (Román *et al.*, 2007).

4.4 Leguminosas

Son un grupo de plantas pertenecientes a la familia de las fabáceas, constituido por una gran variedad de enredaderas, hierbas, árboles y arbustos, que se caracterizan por tener sus hojas estipuladas y su fruto en forma de vaina. Se dividen en 3 subfamilias:

- 1.- *Caesalpinioideae*, principalmente árboles.
- 2.- *Mimosoideae*, árboles pequeños y arbustos
- 3.- *Papilionoideae* malezas (Universidad Politécnica de Valencia, 2003).

4.4.1 Leguminosas en nutrición animal

En la nutrición animal se consideran dos grupos de leguminosas:

1. Leguminosas-forraje (p. ej. la alfalfa), usadas en alimentación de rumiantes.
2. Leguminosas-grano (p. ej. habas, guisantes y altramuces), usadas en aves y cerdos, y en menor medida para rumiantes (*Rubio & Molina, 2016*).

Dentro de las especies de leguminosas arbóreas y arbustivas utilizadas en nutrición de rumiantes se encuentran: alfalfa, diversas especies de tréboles, vicia, *Acacia spp*, *Leucaena spp*, *Prosopis spp*, entre otras (*Jewsbury, 2016*).

4.4.2 Importancia en la alimentación de rumiantes

Su importancia radica en que son fuente de proteína de calidad para la producción animal, por tener alto contenido de nitrógeno a lo largo de su estructura, sean hojas, flores, frutos y tallos, que pueden ser aprovechados por la naturaleza digestiva de los rumiantes. Además de contener calcio, minerales y algunas vitaminas (*Carrera, 2012*).

Desde el punto de vista de *Rubio y Molina (2016)*, la importancia del uso de leguminosas grano en la alimentación animal es que representa una alternativa para sustituir parcial o totalmente a fuentes de proteínas tradicionales. Y la perspectiva sobre los taninos que contienen las leguminosas en las dietas de los rumiantes está cambiando ya que pueden ejercer un efecto beneficioso.

Su importancia en la nutrición de los rumiantes radica en que se pueden usar como mejoradores de la alimentación mediante la asociación con gramíneas u otras formas (Banco de proteínas) ya que estas especies vegetales tienen alta resistencia, producción de materia seca y un alto valor nutritivo sobre en época seca (*Sánchez, 2006*).

4.5 Cascalote (*Caesalpinia coriaria*).

Sinónimos: *Caesalpinia thomaea* Spreng, *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schltdl, *Poinciana coriaria* Jacq.


Nombres comunes: Agallo, Nacascolo, Nacascalote, Cascalote.

4.5.1 Clasificación taxonómica

En sus colecciones el Instituto de Biología de la UNAM (IBUNAM), 2019. Clasifica a él cascalote de la siguiente manera como lo muestra el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Caesalpinia coriaria* (Jacq) Willd.

Taxonomía del Cascalote	
Reino	<i>Plantae</i>
Phylum o división	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Genero	<i>Caesalpinia</i>
Especie	<i>Coriaria</i>
Nombre científico	<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd.



Gettyimages, 2023

4.5.2 Descripción botánica

El cascalote pertenece a la familia de las fabaceae, su nombre científico es *Caesalpinia coriaria*. Nombres comunes; agallo, nacáscalo, nacascalote, dividibi. Cuya distribución geográfica; México a Colombia y Venezuela; Antillas (UEIA, 2014). Se encuentra en selvas bajas y medianas caducifolias. En México se encuentra distribuido en Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca (Sandoval *et al.*, 2006).

Es un árbol perennifolio, sin espinas y no fija nitrógeno, de 5-7m de altura, ocasionalmente puede llegar a medir hasta 12 m. Su forma es variable con numerosas ramillas, los tallos principales a menudo están torcidos. Las hojas son compuestas bipinnadas de 10-15 cm de longitud. De flores pequeñas, amarillas y fragantes que se disponen en racimos cortos, simples o compuestos. El fruto es una vaina, de 3-6 cm de

longitud, oblongas, gruesas, carnosas y coriáceas. De color marrón cuando están maduras. El polvo amarillento que rodea las semillas dentro de las vainas contiene un 50% de tanino (Cordero & Boshier, 2003).

Figura 1. Descripción botánica del cascalote



Corteza de árbol de cascalote



Hojas en el tallo alternas de composición bipinnadas.



Flores pequeñas que se disponen en racimos.



Fruto verde y fruto seco

Cuadro 2. Calendario de *Caesalpinia coriaria* (Cordero & Boshier, 2003).

Calendario de la especie											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
		HOJAS									
			FLORES								
						FRUTOS					
								SIEMBRA			

4.5.3 Composición química

La composición química del Cascalote, se muestra en el cuadro número 3.

Cuadro 3. Constituyentes químicos del fruto y follaje de *Caesalpinia coriaria*

Componente	Fruto	Follaje
Humedad %	3	5
Materia seca %	97	95
Cenizas %	2.43	3.79
Proteína cruda %	4.84	12.81
Grasa cruda %	0.19	0.76
Fibra cruda %	3.35	41.46
Extracto libre de nitrógeno %	83.5	38.19
Fibra detergente neutra %	10.3	46.36
Fibra detergente ácida %	8.18	31.01

Cuadro de composición química del cascalote, Mora *et al.*, 2018.

Como se observa en el cuadro 3, tanto el fruto como el follaje presenta una cantidad aceptable de proteína, así como alto contenido de fibras mismas que pueden ser aprovechados por la naturaleza digestiva del rumiante.

Diversos estudios bromatológicos se han realizado a través de los años al fruto seco del cascalote, en diferentes regiones del sur de México, cuya composición nutricional es variable. Se puede observar y comparar los resultados tanto de análisis proximales y degradabilidad ruminal de la materia seca de diversos autores que cita Palma, (2018) en el cuadro número 4 y 5.

Cuadro 4. Muestra los resultados comparativos de análisis nutrimental del fruto del cascalote de diversos investigadores a través de los años.

Análisis nutrimental del fruto de <i>Caesalpinia coriaria</i>				
	Morales (1998)	Román <i>et al.</i> (2007)	Camacho <i>et al.</i> (2014)	Rodríguez (2016)
Materia seca %	94.4	--	93.50	95.38
Proteína cruda %	4.55	4.84	3.85	5.34
Extracto Etéreo %	6.47	0.20	6.38	0.57
Cenizas %	1.93	2.58	1.87	2.23
Pared celular %	9.14	10.30	9.78	8.89
FDA %	9.02	8.18	9.18	8.32
Lignina %	0.12	--	--	--
Digestibilidad in situ de la MS %	97.72	--	--	94.80

Cuadro 5. Resultados de degradabilidad ruminal de la materia seca de *Caesalpinia coriaria* de diversos autores.

Degradabilidad ruminal de la materia seca de <i>C. coriaria</i>				
Fracción soluble a (%)	Fracción degradable b (%)	Fracción a+b (%)	C (% hr)	Autor
--	--	92.70	--	Palma <i>et al.</i> , 2008
77.55	20.14	97.69	0.0031	Román, 2001.
87.25	7.54	94.8	0.0068	Rodríguez <i>et al.</i> , 2016.

4.5.4 Otros componentes del cascalote.

Las plantas contienen compuestos orgánicos que no están involucrados en el metabolismo primario, es decir; no se asimilan rápido. Esta restricción genera un

metabolito secundario. Taiz y Zeiger, (2006) citado por Gómez, (2018) clasifica los metabolitos secundarios en:

1. Productos nitrogenados
2. Productos fenólicos
3. Productos terpenoides.

En su análisis Fitoquímico de Extractos de Frutos y Hojas de Dividivi (*Caesalpinia Coriaria*) (Jacq.) Willd, Sánchez *et al.*, (2022). Comenta que la cantidad de extracto de *C. coriaria* (Jacq.) Willd obtenido por el método maceración simple osciló entre los 103 ml para extractos metanólicos y los 112 ml para etanólicos.

Y que el análisis colorimétrico de los extractos etanólicos de hojas y frutos arrojó la presencia de fenoles, glicósidos, aceites esenciales, alcaloides, cumarinas y flavonoides. Mientras que el extracto metanólico de frutos se encontró presencia de fenoles, glicósidos, aceites esenciales, alcaloides, cumarinas, flavonoides y saponinas. Lo que hace que esta planta sea una fuente de metabolitos secundarios bioactivos.

Los frutos del cascalote tienen un alto contenido de taninos de 40 a 45%, con propiedades medicinales de tipo antiséptico y antiinflamatorio (Palma, 2018).

4.5.5 Usos del cascalote

El cascalote es un árbol multipropósito, ya que presenta diversidad de usos como:

1. Fuente de alimento para el ganado y fauna silvestre sobre todo en época seca, además de proveer de sombra.
2. Barrera rompe vientos y cercas vivas.
3. Para postes de cercas
4. En construcciones se usa para vigas y horcones.
5. Maderable: Artesanías
6. Medicinales: Astringente, antiséptico, cicatrizante, enfermedades del corazón y mala digestión.
7. Fuente de taninos.
8. En la industria para curtir pieles, fabricar jabones y teñir gamuza.
9. Melífero
10. Para hacer carbón (Olivares *et al.*, 2011., Palma & Román, (nd)).

4.5.6 Uso en la nutrición de rumiantes

Estudios sobre el comportamiento de especies vegetales consumidas por caprinos, el cascote junto a otras 5 especies más representa el 80 % de plantas seleccionadas durante la estación seca. Donde *Caesalpinia coriaria* destaca por su buena producción de biomasa (Román, 2001).

La inclusión de frutos de leguminosas en las dietas de rumiantes puede tener efectos sobre el rendimiento productivo debido a la presencia de taninos. Uno de estos efectos suele ser negativo por las altas concentraciones de taninos en las dietas, debido a la escasa disponibilidad de nutrientes a consecuencia de complejos formados entre los taninos y diversas macromoléculas. Otro de los efectos que pueden tener son los positivos si se utilizan en concentraciones moderadas. Los taninos hidrolizados son rápidamente degradados en el rumen a glucosa y otros compuestos fenólicos de menor tamaño (Hervás, 2001).

4.6 Taninos

Los taninos son compuestos secundarios de las plantas a los cuales se les ha atribuido una función defensiva frente a fitopatógenos y herbívoros, tiene la capacidad de formar complejos reversibles e irreversibles con proteínas y polisacáridos. Según su estructura química se dividen en dos grupos: taninos condensados e hidrolizables (De Frutos *et al.*, 2005).

Los taninos condensados o proantocianidinas son compuestos complejos de oligómeros y polímeros flavánicos unidos mediante enlaces de átomos de carbono. Derivados de unidades de flavan-3,4-dioles.

Los taninos hidrolizados están formados por ésteres de ácido gálico y dímeros de ácido gálico, digálico con monosacárido se hidrolizan con facilidad por la acción de los ácidos, bases y enzimas.

Los taninos y su efecto en la alimentación animal, (Lasa *et al.*, 2010).

1. Antimicrobiano: inhiben el crecimiento microbiano sobre todo en bacterias Gram + debido al enlace tanino-proteína de la célula bacteriana que limita mecanismos de transporte e inhibe enzimas de la pared celular.
2. Limitadores de consumo: los taninos son astringentes, se unen a las proteínas salivales y se adhieren a las membranas mucosas de la boca, lo que disminuye la aceptación de la ración.
3. Enlace con proteína: la formación de tanino-proteína hace que la proteína de la dieta sea indigestible en el rumen por la población microbiana. Pero soluble en abomaso por pH <3.5 para su digestión y absorción.
4. Antihelmíntico: disminuyen la excreción fecal de huevos de nematodos gastrointestinales los animales.
5. Disminución de la digestibilidad: principal efecto negativo porque inhibe la actividad de una serie de enzimas (proteasas, zimógenos, lipasas, α -amilasas, celulasas, β -glucosidasas y ureasas). Por lo que afirman algunos estudios que deprime la digestibilidad del alimento. También inhibe la proteína del rumen y baja las concentraciones de amonio lo que indica inhibición de enzimas proteolíticas.
6. Otros cambios negativos: una dieta con alto contenido de taninos puede producir gastroenteritis hemorrágica y cambios en las membranas mucosas del intestino.

4.6 Anatomía, fisiología y microbiología del sistema digestivo del rumiante.

4.6.1 Anatomía y fisiología del aparato digestivo del rumiante.

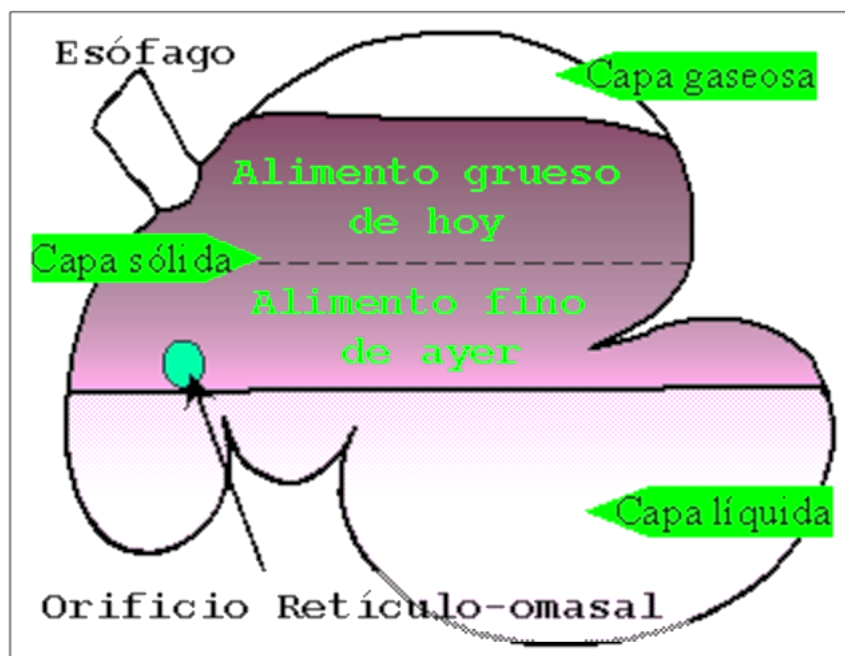
El sistema digestivo de los rumiantes es especializado, porque está desarrollado y adaptado para disolver y fermentar fibras vegetales y obtener energía de ellos, lo que los hace aptos para alimentarse con forrajes de baja calidad.

La anatomía y fisiología del sistema digestivo del rumiante la constituyen;

1. Boca, formada por dientes (carece de caninos e incisivos superiores), la lengua y glándulas salivales (cuya función es controlar el pH del estómago), además humedecen el bolo y facilita su masticación y deglución.

2. El esófago, transporta el bolo de la boca al retículo y también permite regurgitar el bolo para masticar más si es necesario.
3. Estómago (contiene microorganismos y se divide en cuatro compartimentos: el retículo, el rumen, omaso y el abomaso).
 - Retículo su función principal es recolectar partículas más pequeñas del digesto y transportarlas al omaso, dejando las partículas grandes en el rumen para un proceso de digestión más largo.
 - Rumen, es una cámara de fermentación y degradación de gran parte de la materia orgánica por acción de microorganismos anaeróbicos principalmente bacterias, hongos y protozoos.
 - Omaso tiene forma esférica con muchos pliegues de alta capacidad de absorción de agua y nutrientes (AGV's) que ingresan a su interior.
 - Abomaso, considerado el estómago verdadero del rumiante segrega ácido clorhídrico (HCL), enzimas digestivas (pepsina) y se digieren bacterias y protozoos que escapan del rumen.

Figura 2. Estratificación del alimento en el interior del rumen.



Nava & Diaz, 2001.

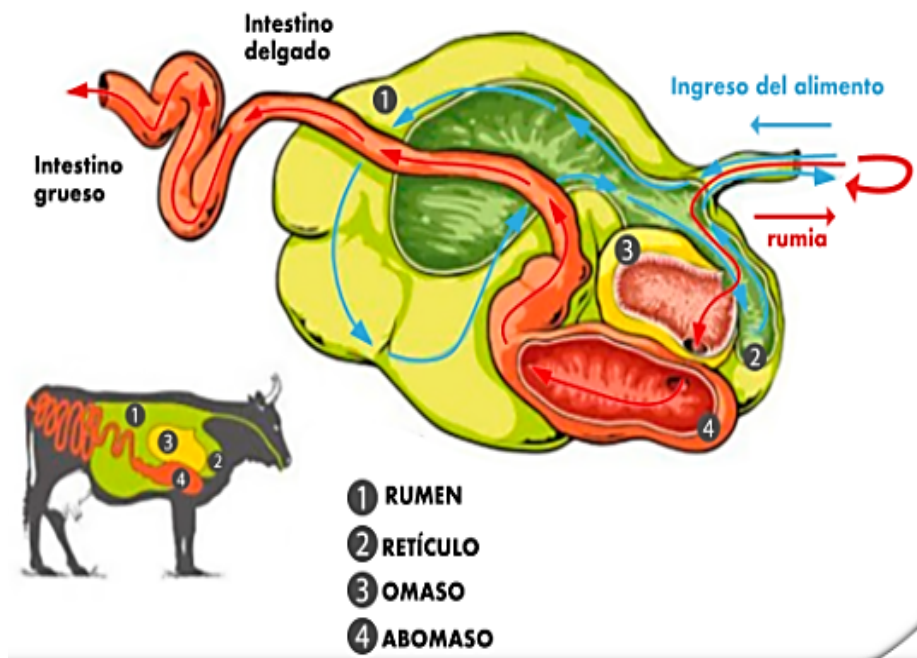
Capa gaseosa: parte superior dorsal del rumen está ocupada por gases.

Capa sólida: Constituida por partículas de tamaño grande del alimento consumido. Seguida de una capa intermedia semilíquida, donde el alimento está en constante transición entre la fase sólida y líquida.

Capa líquida: Se encuentra en la parte inferior del rumen y tiene consistencia acuosa. La motilidad del retículo rumen mueve la digesta en su interior y pasa la misma al omaso y abomaso.

4. Intestino delgado se terminan de digerir las proteínas y grasas. Se caracteriza por tener una mucosa de vellosidades donde se da la absorción activa de nutrientes y se divide en 3 partes; a) *duodeno* en el desembocan los ductos del biliares y pancreáticos que elevan el pH de la mezcla intestinal, b) *yeyuno* porción más larga en forma de espirales, c) *íleon* es más corto realiza contracciones para pasar la digesta al intestino grueso.
5. Intestino grueso se caracteriza por tener pliegues de mucosa semicirculares, realiza contracciones musculares que ayudan a mezclar y mover la digesta de allí. Se divide en ciego, colon y recto.
 1. Ciego primera porción del intestino grueso realiza una fermentación microbial después de la digestión ácida dentro del abomaso y la digestión enzimática del intestino delgado.
 2. Colon se realiza poca digestión y la absorción de nutrientes, pero fácilmente absorbe agua y minerales. En esta se forman las heces.
 3. Recto parte final excreta los productos de desecho.
6. Glándulas anexas (páncreas, la vesícula biliar) a través de sus ductos liberan enzimas y jugos pancreáticos que ayudan a la digestión de carbohidratos, proteínas y grasas (García & Gingins, 1969; Hofmann, 1993 y RumiNews, 2023).

Figura 3. Anatomía del sistema digestivo de los rumiantes.



VetsPharma, 2021.

4.6.2 Microbiología del rumen.

La microflora ruminal es compleja debido a la gran variedad de microorganismos presentes que la forman entre ellos están; las bacterias, protozoarios y hongos anaeróbicos, los cuales tienen una relación simbiótica con el rumiante porque dependen del este para disponer de las condiciones fisiológicas para su existencia y a la vez estos son esenciales para la digestión y fermentación de alimentos fibrosos cuyos productos finales solubles son absorbidos por el rumen.

Los microorganismos más esenciales son las bacterias y los protozoarios, porque aportan mayor cantidad de proteína microbiana, las concentraciones de estas especies varían por los cambios en las dietas y algunos factores como; la disponibilidad de carbohidratos, la proteína degradable en el rumen, la grasa alimentaria, la ingesta de alimento y el pH ruminal (Castillo & Domínguez, 2018).

La población microbiana no sólo degrada alimentos en el rumen, también sintetiza sus propias proteínas a partir de nitrógeno no proteico (urea, biuret, etc.). Lo que hace poco importante la calidad de la proteína que se suministra al rumiante. También se sintetizan en el rumen todas las vitaminas del grupo B y la K, haciendo al animal independiente de su aporte por la dieta (García & Gingins, 1969; Yokoyama & Johnson (1993).

4.6.2.1 Bacterias

Las bacterias son las más abundantes en el rumen, se encuentran aproximadamente 10 000 millones de bacterias por gramo de contenido ruminal. Se pueden clasificar de diferentes maneras y puede ser en base a la morfología, a la presencia de apéndices, a la composición química celular, a los sustratos atacados y a los productos finales de su metabolismo.

Las bacterias ruminales pueden hidrolizar la celulosa y metabolizar los azúcares solubles producidos. Estos productos finales, así como la síntesis de proteína microbiana son resultado de varios factores: características físicas y químicas del alimento, fisiología del aparato digestivo del rumiante y composición de la flora microbiana del rumen.

Por ejemplo; se muestra las bacterias del rumen según el sustrato que fermentan (Cuadro 6), adaptado de Yokoyama & Johnson (1993).

Cuadro 6. Principales especies bacterianas del rumen según el tipo de sustratos que fermentan.

Principales especies	Sustrato que fermenta
Celulolíticas	<i>Bacteroides succinogenes</i> , <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
Hemicelulolíticas	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Bacteroides rumenicola</i> <i>Ruminococcus sp.</i>
Pectinolíticas	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Bacteroides rumenicola</i> <i>Lachnospira multiparus</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Streptococcus bovis</i>
Amilolíticas	<i>Bacteroides amylophilus</i> <i>Streptococcus bovis</i>

	<i>Succinimonas amylolytica</i> <i>Bacteroides rumenicola</i>
Ureolíticas	Succinivibrio dex trinosolvens Selenomonas sp. Bacteroides rumenicola Ruminococcus bromii Butyrivibrio sp. Treponema sp
Productoras de metano	Methanobrevibacter ruminantium Methanobacterium formicicum Methanomicrobium mobile
Que utilizan azúcar	Treponema bryantii Lactobacillus vitulinus Lactobacillus ruminus
Que utilizan ácidos	Megasphaera elsdenii Selenomonas ruminantium
Proteolíticas	Bacteroides amylophilus Bacteroides rumenicola Butyrivibrio fibrisolvens Streptococcus bovis
Productoras de amoniaco	Bacteroides rumenicola Megasphaera elsdenii Selenomonas ruminantium
Que utilizan lípidos	Anaerovibrio lipolytica Butyrivibrio fibrisolvens Treponema bryantii Eubacterium sp. Fusocillus sp. Micrococcus sp.

4.6.2.2 Protozoarios

Los principales protozoarios del rumen son los ciliados. Tienen una población oscilante de 10^5 a 10^6 células/ml de contenido ruminal. Viven en asociación con las bacterias su función es fermentar algunos sustratos, asimilar azúcares solubles y transformar el 80 % de estos en un polisacárido similar al almidón (Yokoyama & Johnson, 1993; García, 2016).

Para (García, 2016) los factores que afectan la concentración de protozoarios son: el tipo de alimento y su procesado, el pH así como la frecuencia y la cantidad administrada. Se clasifican en dos grupos con varios géneros que incluyen en forma importante a los siguientes:

1. *Isotrichia* y *Dasytrichia*; cuyo sustrato son los azúcares simples.

2. *Metadinium*; cuyo sustrato es la celulosa.
3. *Diplodinium*; cuyos sustratos son la celulosa y los almidones.
4. *Entodinium*; cuyos sustratos son los almidones y las proteínas.

En su trabajo N. Owens y Zinn (1993), comentan que las bacterias contienen entre un 20 y 60 % de proteína bruta de su sustancia seca y que los protozoarios tienen un promedio de 40%. Estos macroorganismos tienen como principal fuente de N para síntesis de proteína, el NNP (nitrógeno no proteico) y la proteína que aporta la dieta.

4.6.2.3 Hongos

Yokoyama & Johnson, (1993), describen que se han descubierto en el rumen zoosporos de hongos ficomicetos anaerobios y células vegetativas, que degradan celulosa y xilanos, indicando que pueden desempeñar un papel en la digestión de la fibra en el rumen. Los géneros más frecuentes en el rumen son; *Neocallimastic*, *Caecomyces*, *Pyromyces* y *Orpinomyces*.

4.6.2.4 Factores que afectan el microbiota ruminal.

La población microbiana ruminal es modificada por varios factores, entre los más importantes está el cambio de alimentación, por lo que es necesario dar un periodo de adaptación de aproximadamente dos semanas, para evitar trastornos en el patrón de fermentación.

Nava & Diaz, (2001) menciona los siguientes factores que influyen en el microbiota ruminal:

- a) Características físicas y químicas del alimento
- b) Concentración de nutrientes
- c) Condiciones ambientales del rumen (pH, °T, [CO₂])
- d) Productos finales de fermentación (AGV, Ac. Láctico, amoniaco, etc.)
- e) Velocidad de crecimiento
- f) Índice de eliminación de microorganismos.

4.7 Degradabilidad

4.7.1 Definiciones de degradabilidad

La degradabilidad es la capacidad de descomposición química o biológica de compuestos orgánicos por acción del metabolismo de los microorganismos (Aguamarket, 2021). Conocer la degradabilidad y digestibilidad de los alimentos es fundamental para establecer su valor nutritivo y para la formulación de raciones para rumiantes con recursos existentes en la región.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020), en su glosario de sistemas de producción y nutrición animal define la degradabilidad de la siguiente forma:

Degradabilidad parte del alimento que desaparece debido a los procesos digestivos microbianos en el rumen de los rumiantes, está afectada por las características del alimento y por la velocidad de tránsito de este en el rumen.

Degradabilidad efectiva es la suma de la fracción soluble y de la parte potencialmente degradable que realmente se degrada, teniendo en cuenta la velocidad de degradación y el tiempo de permanencia del alimento en el rumen del animal.

Degradabilidad potencial es la suma de la fracción soluble y de la fracción potencialmente degradable del alimento.

En su investigación Giraldo *et al.*, (2007) citado por Araiza *et al.*, (2013) definen la digestibilidad como la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo y la degradabilidad como la cantidad de alimento que se descompone en sus elementos integrantes, mediante procesos biológicos o químicos. Y su diferencia radica en que la digestibilidad de los forrajes permite estimar la proporción de nutrientes presentes en el alimento.

4.7.1 Técnicas para determinar la tasa de degradabilidad

La tasa de degradabilidad de un alimento se obtiene a través de cuatro métodos que se utilizan en química para simular la digestión ruminal y degradabilidad (González *et al.*, 2015).

- ✓ Determinación química, AQP (Análisis Químico Proximal)
- ✓ Técnica *in vitro*
- ✓ Técnica *in situ*
- ✓ Técnica *in vivo* (Pruebas productivas)

Determinaciones químicas:

Nouel, (2003) define que las determinaciones químicas son análisis químicos proximales sobre un alimento y se realizan en el laboratorio, mediante el sistema Weende y sistema Van Soest, que permiten conocer la composición de estos. Y menciona que los componentes del análisis químico proximal son:

1. Materia seca (MS) % = $100 - \% \text{ agua}$, se hace secado en la estufa hasta alcanzar peso constante.
2. Cenizas (C)%. La muestra se incinera a 550-600 °C en una mufla.
3. Materia orgánica (MO)% = $100 - \% C$.
4. Proteína cruda (PC) %. Se usa el método de Kjeldahl, pasando por 3 etapas: digestion (tratamiento ácido), destilación (tratamiento alcalino) y titulación. Resultado el % de nitrógeno de la muestra digerida. $\% PC = \% N \times 6,25$.
5. Extracto Etéreo (grasa cruda) (EE) %. Por método de extracción de éter de petróleo.
6. Fibra cruda (FC) %. La muestra que se le ha extraído el EE es puesta a hervir en una solución ácida diluida seguida de una alcalina.
7. Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) %. Se determina por diferencia entre $\% ELN = 100 - (\% H_2O + \% PC + \% EE + \% C + \% FC)$.
8. Fibra Detergente Neutra (FDN) %. Se determina por método de Van Soest. Se somete a soluciones neutras. Esta determinación muestra el contenido total de pared celular: celulosa, hemicelulosa y lignina.
9. Fibra Detergente Ácida (FDA) %. La muestra se determina mediante método Van Soest, la cual se somete a soluciones ácidas. Muestra el contenido de celulosa y lignina. Este residuo es considerado como fibra no digerible.

Técnica *in vitro*

Se realizan en el laboratorio en tubos de ensayo, mediante cultivos y se utilizan diferentes métodos, por ejemplo:

1. Medición del contenido de celulasa y degradabilidad de la fibra.
2. Método de Tilley and Terry (mide la degradabilidad de fibras y fluido ruminal).
3. Métodos que miden la producción de gas que va a haber dentro del rumen, en función de la utilización de algunos ingredientes, con eso se puede medir la tasa de degradación (métodos de cultivos discontinuos) y el contenido de energía (método HFT).
4. Método RUSITEC (Mide tasa de degradabilidad).

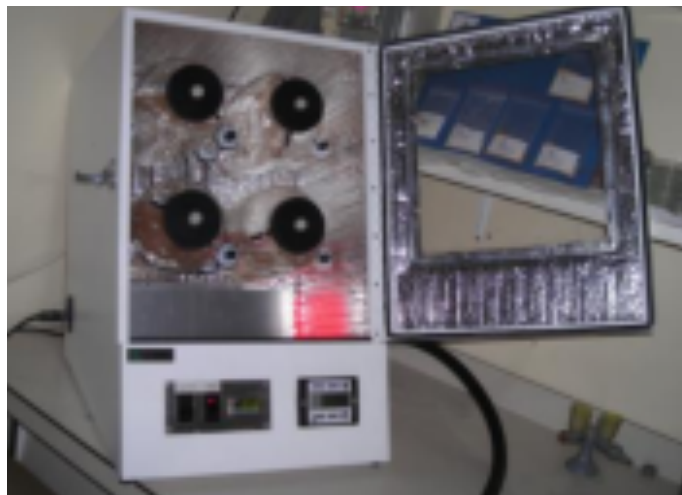


Figura 4. Método de Tilley and Terry

Técnica *in situ*:

El método *in sacco*, también denominado bolsa de nailon e *in situ*, tiene como objetivo fundamental medir la desaparición de la MS y MO, el N u otro nutriente de los alimentos sometidos al efecto del ambiente ruminal.

Este método ha sido utilizado en diferentes especies de animales incluyendo vacas, novillos, borregos, caprinos, caballos y conejos. El uso de bovinos tiene la ventaja de

permitir un mayor número de bolsas y/o bolsas más grandes por periodos (Villalobos, 2000., Rosero & Posada., 2007., González *et al.*, 2015).

Esta técnica consiste en colocar la muestra en bolsas sintéticas e incubarlas en el rumen de animales fistulados en un determinado tiempo para obtener el porcentaje de degradabilidad de nutrientes en el sitio donde se colocaron las muestras. Los resultados se afectan por; el tamaño del poro de la bolsa, el tamaño de partícula y muestra, el lugar de la secuencia de la incubación, el tipo de dieta ofrecida, la especie animal utilizada y el modo de preparación, lavado y secado de la muestra (Villalobos, 2000).



Figura 5. Técnica in situ, incubación de bolsas en el rumen.

Técnica in vivo:

Se realiza mediante pruebas productivas utilizando animales vivos. Consiste en administrar a cada animal alimento uniforme y cuidadosamente pesado en un tiempo determinado, pesándolos y tomando muestras de la parte del alimento rechazada por el animal (Vega, 2016).



Figura 6. Técnica en vivo en sistemas tecnificados



Figura 7. Técnica en vivo en sistemas rustico.

4.8 Digestión, absorción y excreción en rumiantes.

4.8.1 Definición de digestión

En los rumiantes, la digestión es la suma de procesos físico-químicos por los que las macromoléculas (carbohidratos, lípidos y proteínas) de los alimentos son degradadas a compuestos más simples (glucosa, ácidos grasos y aminoácidos) para su absorción en el tracto gastrointestinal.

Esta se logra a través del metabolismo fermentativo (microbios) en el retículo-rumen, por descomposición hidrolítica-enzimática y secreciones gástricas del estómago (abomaso) e intestino delgado y una fermentación secundaria en ciego e intestino grueso (Merchen, 1993).

4.8.2 Secreciones del tracto digestivo que contribuyen a la digestión.

- a) Abomaso: es el verdadero estómago del rumiante porque contiene tejido secretor, se divide en:
 1. Región fúndica: contiene células parietales que secretan HCL (ácido clorhídrico), células principales que secretan pepsina y células secretoras de mucosa.
 2. Región pilórica: secreta principalmente mucosa alcalina.
- b) Intestino delgado: la digestión en el intestino depende de:

1. Secreciones del hígado, secreta bilis que se almacena en la vesícula biliar. Esta solución contiene mucus, electrolitos, sales biliares y pigmentos, se sintetiza a partir del colesterol cuya función es emulsificar y solubilizar lípidos. Se secreta en el duodeno anterior y se reabsorbe en el íleon regresando a través de la circulación entero hepática al hígado).
2. Secreciones del páncreas (el jugo pancreático contiene: enzimas amilolíticas, lipolíticas y proteolíticas en solución de electrolitos y agua con pH neutro. Su volumen y composición dependen de la cantidad y composición de la digesta que llega al duodeno. Las hormonas insulina, secretina y colecistoquinina influyen en la secreción del jugo pancreático.
3. Secreciones de la mucosa intestinal (secreta moco neutro a ligeramente alcalino que contiene amilasa y ribonucleasa). Las enzimas segregadas por la mucosa son producidas por células Brunner del duodeno.
El pH del duodeno y yeyuno proximal es de ácido (2.5 - 5.1)
El pH a la mitad del yeyuno es neutro (6 - 7)
El pH del íleon es alcalino (7.8 – 8.2)

Una característica del proceso digestivo del rumiante es que es continua, el comer y rumiar junto a la gran reserva de digesta en el retículo-rumen mueven la digesta de manera continúa estimulando la liberación continua de secreciones digestivas en el abomaso e intestino delgado.

Entre los factores más importantes que interactúan en las secreciones del tracto digestivo esta; la cantidad y composición química de la digesta, el paso continuo de la digesta en las diferentes partes, aumentos del consumo de pienso y la entrada de ácidos grasos volátiles (Merchen, 1993).

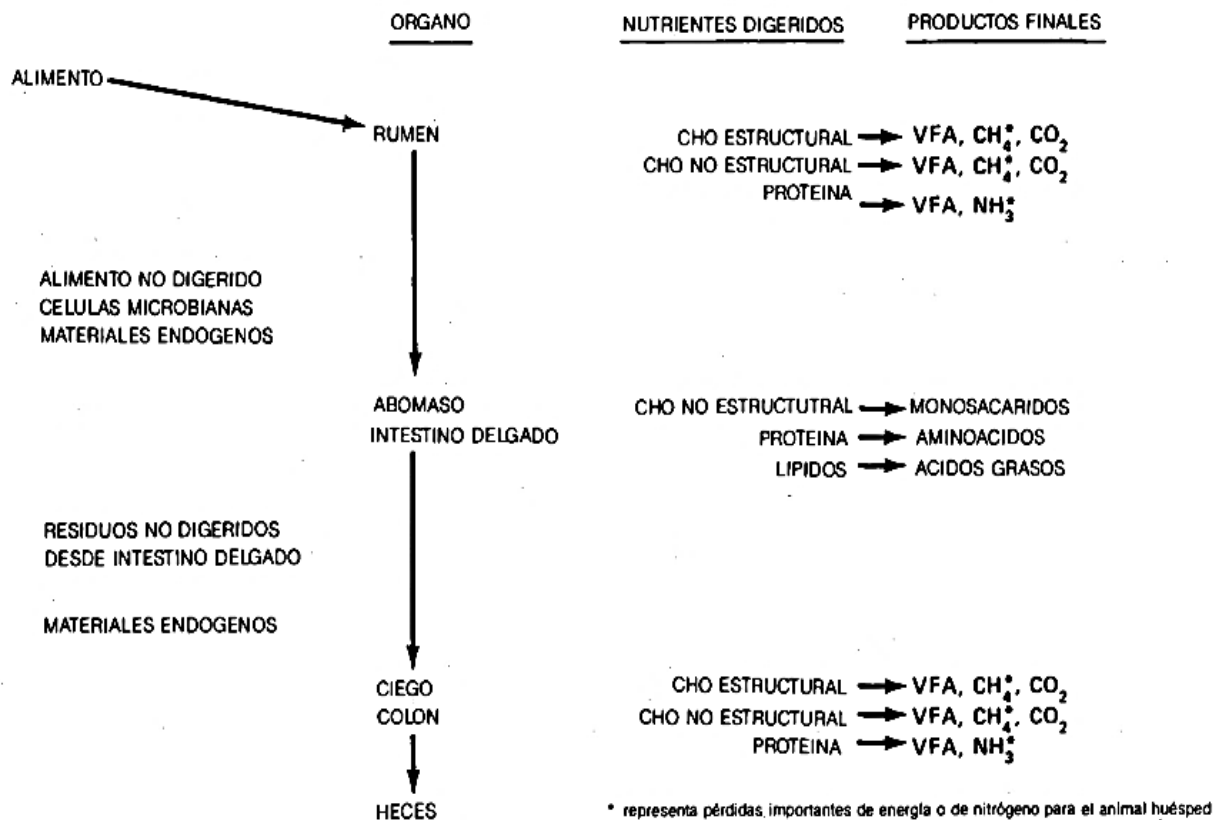


Figura 8. Partes del tracto digestivo y productos finales de la digestión en los rumiantes (Merchen, 1993).

4.8.3 Reparto de la digestión

La digestibilidad aparente no aporta información sobre regiones del tracto digestivo en los que tiene efecto la digestión y la absorción. Existen diferencias cuantitativas y cualitativas en la absorción de productos finales en distintas zonas del tracto digestivo, por lo que diversos investigadores han intentado repartir la digestión en rumiantes.

La medición del flujo de digesta requiere de animales con cánulas en zonas específicas del tracto gastrointestinal. Las cánulas más comunes son: cánula de reentrada se colocan en intestino, aunque la medición es directa los animales son difíciles de mantener. Cánula simple de tipo T se hace en rumen, los animales son fáciles de mantener y las mediciones dependen del uso de marcadores no digeribles.

Factores que influyen en la zona de digestión.

1. El nivel de consumo (cuando aumenta el consumo de MS la digestión del retículo-rumen pasa a los intestinos).
2. El tipo de cereal y su tratamiento.
3. Tratamiento de forrajes (molturación y granulación disminuye el tiempo de exposición a microbios del rumen)
4. Cambios en la velocidad del paso de digesta

La intensidad de retención de los componentes de la dieta está en función de la tasa de digestión y el tiempo en que el material está expuesto a la actividad digestiva. La tasa de paso es alterada por el nivel de consumo y el tratamiento de los alimentos, conocer estos factores mejora ayuda a las diferentes estrategias de alimentación. Para medir el tiempo de retención y las tasas de paso se han empleado marcadores indigestibles.

El método más común que ha utilizado es la técnica de dilución en la que se administra una dosis única de marcador, a través de una fístula en el rumen. Este marcador se mezcla con el contenido del rumen y se toman muestras secuenciales. La regresión del logaritmo natural de la concentración del marcador a través del tiempo se traducirá en una línea recta.

Factores que influyen en el tiempo de permanencia

- a) Nivel de consumo: en rumiantes que aumentan el consumo de forrajes se incrementa la tasa de intercambio desde el rumen tanto digesta fluida como de partículas.
- b) La forma física del forraje: La reducción del tamaño de la partícula mediante la molturación, incrementa la tasa de salida por lo que reduce el tiempo de retención disminuyendo la digestibilidad de la fibra y materia orgánica. Esto hace que aumente el consumo voluntario para compensar la baja digestibilidad.
- c) Sales minerales. La inclusión de sales solubles aumenta las tasas de dilución de fluidos que salen del rumen aumentando el consumo de agua y por ende influye en la zona de digestión.

- d) Temperatura ambiental, los animales estresados por frío aumentan motilidad del retículo-rumen y del conducto gastro-intestinal por que aumentan el consumo de materia seca para cubrir las demandas de energía.

4.8.4 Absorción del tracto digestivo.

Absorción de ácidos grasos volátiles y amoniaco.

En el rumen, se produce absorción de los productos de digestion como; ácidos grasos volátiles (AGV'S), amoniaco (NH_3), Metano (CH_4) y Dióxido de carbono (CO_2). La mayor parte de los ácidos producidos en el retículo-rumen son absorbidos directamente en este compartimento y esta absorción continua se mantiene por un pH ruminal bajo. Son importantes porque aportan más del 70% de energía al rumiante.

Los ácidos grasos volátiles son producidos mediante pautas microbianas específicas absorbidos continuamente desde el rumen, su concentración representa el equilibrio entre la tasa de producción y de absorción de cada ácido graso volátil, así como de sus interconversiones.

El epitelio del rumen (papilas) modifica su tamaño y longitud dependiendo de las concentraciones de los ácidos grasos volátiles y la velocidad de absorción aumenta a medida que desciende el pH (Merchen, 1993., y Nava & Díaz, 2001).

El amoniaco es absorbido a través de la pared del rumen, mediante difusión pasiva y la cantidad absorbida está relacionada con las concentraciones de NH_3 y con el pH ruminal. Una intoxicación por NH_3 en rumiantes puede presentarse por un consumo excesivo de nitrógeno no proteico (NPN) que se hidroliza con rapidez y se acumula en la circulación periférica (Merchen, 1993).

Absorción en Intestino Delgado (Merchen, 1993).

La absorción en el rumen en lo que respecta en almidones y azucres en rumiantes son cuantitativamente menos importantes ya que estos son fermentados por la población microbiana. Y lo que escapa hacia el intestino delgado se digiere absorbiéndose como glucosa y otros monosacáridos mediante un proceso activo.

Un 70-80 % de los lípidos son producidos en ácidos grasos libres por lipólisis microbiana de los triglicéridos de la dieta y el resto en fosfolípidos de origen microbiano. Para la absorción de lípidos en el intestino delgado es necesaria la secreción biliar y pancreática, que degradan los ácidos grasos y los fosfolípidos absorbiéndose mediante circulación linfática.

La proteína que llega al intestino delgado procede de tres fuentes:

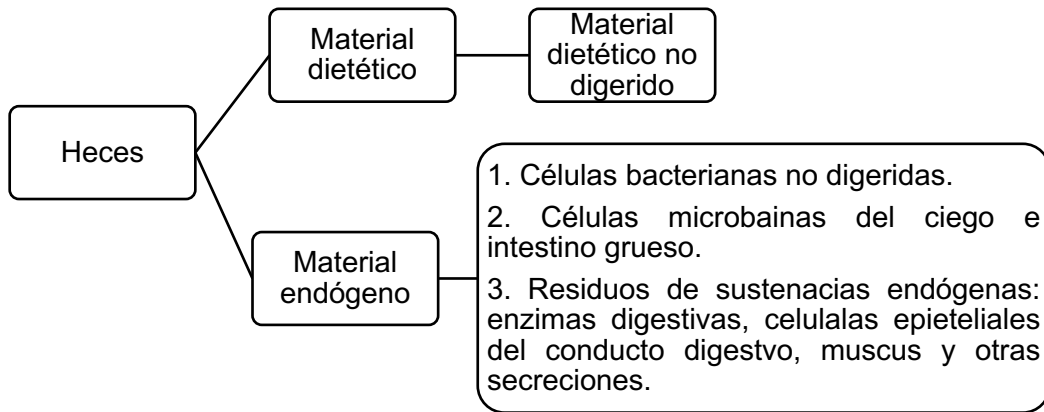
1. De la proteína de la dieta que ha escapado de la descomposición microbiana.
2. De proteína contenida en las células de bacterias y protozoos que salen del rumen.
3. De proteínas endógenas contenidas en células desprendidas y secreciones en abomaso e intestino.

La descomposición de las proteínas depende de la proteasa pancreática e intestinal para convertirse en aminoácidos y péptidos pequeños que son absorbidos por absorción activa del yeyuno e íleon. El mecanismo de transporte es a través de Na (sodio).

4.8.5 Excreción y composición de heces y orina.

Las heces es la vía de desechos y consta de materiales dietéticos y endógenos. Cuya materia seca no digerible consumida por el rumiante influye en la cantidad de materia seca fecal excretada. Y como su digestión es de naturaleza continua estos animales defecan con mayor frecuencia.

La sustancia seca fecal contiene; material dietético no digerido, paredes celulares de bacterias no digeridas, células microbianas del ciego e intestino grueso; residuos de desechos endógenos (biliverdina y bilirrubina), enzimas digestivas, moco y células epiteliales desprendidas del tracto alimentario. El urobilinógeno le da color marrón y el olor se debe al indol y escatol por degradación microbiana del triptófano.



Cuadro de sinóptico de composición de las heces.

La proporción entre material dietético y endógeno será mayor cuando las dietas contengan alimentos difíciles de digerir, por ejemplo; forrajes de baja calidad (Merchen, 1993).

La orina es una solución amarillenta compuesta por productos del metabolismo del N y S, sales inorgánicas (Na, CL y K) y algunos pigmentos. Además, de urea, alantoína, pequeñas cantidades de NH_3 y creatinina los rumiantes excretan creatina, ac. úrico y ac. Hipúrico.

La cantidad de orina excretada depende de la ingesta de agua, sales, composición de la dieta, la temperatura ambiente y otros factores. Los principales aniones de la orina son: bicarbonato y cloro (CL). Y los principales cationes son: Sodio (Na) y potasio (K). La orina de los rumiantes es normalmente alcalina (pH 7.5-8.5).

La orina es la principal vía de excreción productos residuales originados por el metabolismo corporal de distintos compuestos nitrogenados, por ejemplo; urea, alantoína, pequeñas cantidades de NH_3 y proporciones variables de creatinina, creatina, ácido úrico y ácido hipúrico.

4.8.4 Digestibilidad

La digestibilidad es la fracción o porcentaje de un alimento o nutriente consumido que no aparece en las heces y por lo tanto se absorbe en el tracto gastrointestinal. Dependiendo de si se consideran o no las fuentes endógenas se divide en: digestibilidad aparente y digestibilidad verdadera.

4.8.4.1 Digestibilidad aparente y digestibilidad verdadera

En varias investigaciones comenta (Merchen, 1993) que los coeficientes de digestibilidad es la fracción de un alimento o dieta que desaparece durante su paso por el tracto gastrointestinal. Se utilizan como indicador de valor nutritivo.

La digestibilidad se calcula convencionalmente restando de la cantidad consumida de un determinado alimento la cantidad excretada con las heces. Y se le denomina digestibilidad aparente porque las heces contienen cantidades importantes de materiales de origen no dietético que infravaloran la digestibilidad real o verdadera; es decir la cantidad excretada contiene desechos endógenos.

Mientras que la digestibilidad verdadera es la proporción de un alimento ingerido que es absorbido en el tracto gastrointestinal quitando de éste el porcentaje de desechos endógenos y microbiano.

Las diferencias entre digestibilidad verdadera y aparente de los componentes de las fibras son muy pequeñas. En principal determinante de la diferencia entre estas es la cantidad de nitrógeno fecal metabólico y este depende del consumo total de materia seca.

4.7.4.1 Factores que afectan la digestibilidad aparente

1. Nivel de ingesta (el aumento del consumo de MS disminuye la digestibilidad y aumenta la tasa de paso).
2. Efectos asociativos (hace referencia a diferencias no aditivas en la digestibilidad de alimentos consumidos formando parte de dietas mixtas cuyos consumos son

altos en comparación con las digestibilidades determinadas para los mismos alimentos consumidos solos.

3. Procesamiento de piensos (la molienda y granulación de los forrajes disminuyen la digestibilidad porque aumentan la tasa de paso y disminuyen el tiempo de la digesta en el rumen).
4. Madurez del forraje (el forraje maduro tiene mayor concentración de fibra y bajos componentes solubles esto disminuye el consumo voluntario y la digestibilidad de la materia seca (MS)).
5. La temperatura ambiental (la baja temperatura ambiental por debajo de la zona termo-neutra disminuye la digestibilidad).

4.7.4.1 Métodos de medición de digestibilidad

1. Prueba de digestión convencional: mide la cantidad de alimento consumido y las heces excretadas por un periodo de tiempo determinado. Los animales en estas pruebas experimentales son alimentados con dietas de prueba durante un periodo de 2 semanas, seguido por un periodo de recolección con duración de 7-10 días. Las heces se recogen diariamente y se recogen muestras representativas del periodo para su análisis en laboratorio, los datos obtenidos sirven para calcular digestibilidad. Fórmula para calcular digestibilidad aparente de la MS.

$$\% \text{ Digestibilidad Aparente de la MS} = \frac{\text{MS consumida (g/d)} - \text{MS fecal (g/d)}}{\text{MS consumida (g/d)}} \times 100$$

2. Digestibilidad de un alimento por diferencia: supone que la digestibilidad de una dieta mixta es igual a la suma de las porciones aportadas a la dieta suministrada por cada ingrediente multiplicada por la digestibilidad de ese ingrediente si se administrara solo.

Fórmula para calcular la digestibilidad del nutriente

$$\% \text{ Digestibilidad del nutriente en el alimento de prueba} = \frac{(A - (B \cdot C))}{D} \times 100$$

A: Digestibilidad del nutriente en la dieta total

B: Digestibilidad del nutriente en la dieta basal

C: Proporción del nutriente total en la dieta proporcionada por el alimento basal.

D: Proporción del nutriente total en la dieta suministrada por el alimento de prueba.

3. Uso de marcadores

Cuando es difícil el uso de métodos de recogida para determinar digestibilidades pueden usarse sustancias inertes conocidas como marcadores. Se usan no solamente para calcular los coeficientes de digestibilidad sino para valorar la digestión fraccional en diversos segmentos del tracto alimentario y también para medir el tiempo de retención de la digesta.

Tipos de marcadores

- a) Internos: son materias no digestibles que presentan naturalmente los alimentos, por ejemplo; Lignina, Ceniza insoluble en ácido y Sílice.
- b) Externos: son materias que se añaden a la dieta o se administran oral ó intra-ruminalmente a los animales. Por ejemplo; Alimentos teñidos con diversos tintes, Oxido crómico, Fibra mordada en cromo, Elementos de tierra (Lantano, Samario, Cerio, Iterbio, Disprosio) y marcadores solubles en agua (Polietilenglicol (PEG), Etilendiaminotetraacetico de Cr (CrEDTA), CoEDTA).

Situaciones en que resultan útiles los marcadores

- Es conocido el consumo de pienso, aunque no pueden realizarse recogidas totales de materia fecal.
- Cuando no se conoce ni el consumo de alimento ni la producción de heces, aunque se desea calcular la digestibilidad.
- No se conoce ni el consumo de alimentos ni la producción fecal y se desea calcular tanto la digestibilidad como el consumo.

HIPÓTESIS

La inclusión de frutos secos de *Caesalpinia coriaria* en una dieta basal para caprinos en crecimiento mejora la degradabilidad *in situ*.

OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Determinar la composición química y degradabilidad *in situ* de dieta adicionada con diferentes porcentajes del fruto del Cascalote (*Caesalpinia coriaria*) para caprinos en crecimiento.

6.2 Objetivos específicos

1. Conocer la composición química del fruto seco del Cascalote (*Caesalpinia coriaria*) y de la dieta basal para caprinos en crecimiento.
2. Determinar la cinética degradabilidad *in situ* de la MS de la dieta experimental adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco del cascalote.
3. Ajustar los valores de la degradabilidad de la MS, al Modelo de Orskov y McDonald (1979) para conocer los parámetros de degradabilidad de las dietas (a= fracción rápidamente degradable, b= fracción lentamente degradable y c= tasa de degradación (h^{-1}) de la fracción b).

MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Sitio experimental

El presente proyecto se realizó en la posta zootécnica y en los laboratorios de Nutrición Animal del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, ubicado sobre la carretera Toluca - Tejupilco, Km. 67.5, Barrio de Santiago, municipio de Temascaltepec de González, Estado de México. México. CP: 51300. El cual se localiza a una altura de 1740 msnm, cuya temperatura media anual es de 18 °C con clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano y coordenadas geográficas: 19° 02' 42" N y 100° 03' 06" W (Google Earth, (2001)).



Figura 9. Centro Universitario UAEM Temascaltepec



Figura 10. Área de bovinos en la posta zootécnica del CU UAEM Temascaltepec.

7.2 Material y equipo utilizado

El material que se utilizó fue el siguiente:

- ✓ Material vegetativo: frutos secos de cascalote (*Caesalpinia coriaria*).
- ✓ Hielera y bolsas
- ✓ Molino y malla de 1mm
- ✓ Frascos de vidrio
- ✓ Una vaca equipada con cánula permanente
- ✓ Lazo, lápiz, cuaderno y cámara fotográfica.
- ✓ Dieta para preparar la vaca (Forraje (rastrojo molido) y concentrado con 16 % de proteína).
- ✓ Bolsas Ankom F58 y bolsas Ankom R510
- ✓ Dieta para caprinos en crecimiento
- ✓ Bolsa de monofilamento de polietileno de alta densidad y una cadena.



Figura 11. Semilla de cascalote y molino de Wiley.

7.3 Dietas experimentales utilizadas y su Análisis Químico Proximal.

Se utilizó una dieta típica para caprinos en crecimiento, la cual se investigaron los aportes nutricionales de cada ingrediente y se balanceo a los niveles de inclusión deseados como los muestran los siguientes cuadros:

La composición química investigada de los ingredientes de la dieta experimental se muestra en el cuadro (7).

Los ingredientes y nivel de inclusión de dietas experimentales así su composición química calculada se muestra en el cuadro (8).

Cuadro 7. Composición química de los diferentes componentes de la dieta experimental.

Componentes (%) / Ingredientes	C. coriaria ¹	Rastrojo de maíz ³	Melaza ³	Maíz amarillo molido ³	Pasta de soya ²	Salvado de trigo ³	Mazorca molida ³	Premezcla mineral
Humedad	3	20	24	13	9	11	10	0
Materia seca	97	80	76	87	91	89	90	0
Cenizas	2.43	7	12	2	7	7	2	0
Materia orgánica	97.57	93	88	98	93	93	98	100
Proteína cruda	4.84	5	6	9	49	17	6	0
Extracto etéreo	0.19	1.3	0.8	3.7	1.6	4.5	0.5	0
Fibra detergente neutra	10.3	48	0	26	15	46	88	0
Fibra detergente ácida	8.18	29	0	10	10	13	39	0

1 *C. coriaria* (Mora *et al.*, 2018.)
2 Pasta de soya solvente al 44 %
3 (NRC, 2007)

Cuadro 8. Nivel de inclusión de ingredientes de dietas experimentales (%) y su composición química calculada.

INGREDIENTES	DIETA 1	DIETA 2	DIETA 3	DIETA 4
	% inclusión			
Frutos de <i>C. coriaria</i>	0	2.5	5	7.5
Rastrojo de maíz	28.5	26	23.5	21
Melaza	5	5	5	5
Maíz molido	5	5	5	5
Pasta de soya	14.5	14.5	14.5	14.5
Salvado de trigo	12	12	12	12
Mazorca molida	33	33	33	33
Premezcla mineral	2	2	2	2
	100	100	100	100
Composición química calculada				
Materia seca	84.5	85.0	85.4	85.8
Materia orgánica	90.8	94.9	95.0	95.1
Proteína cruda	13.3	13.3	13.3	13.3
Extracto etéreo	1.5	1.5	1.5	1.4
Fibra detergente neutra	51.7	50.8	49.8	48.9
Fibra detergente ácida	24.6	24.1	23.6	23.1

7.3.1. Análisis Químico Proximal

El análisis químico proximal de cada una de las muestras de la dieta y de la harina del fruto seco del cascalote, se realizaron en el laboratorio de nutrición del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, cuyas determinaciones que se efectuaron fueron; porcentaje de humedad (%H), materia seca (%MS), cenizas (%C), grasas (%EE), proteína (%PC), fibra detergente neutra (%FDN) y fibra detergente acida (%FDA) de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists).

7.4 Variables respuesta y duración del experimento

Las variables respuesta que se evaluaron fueron las siguientes:

1. Degradabilidad *in situ* de la Materia Seca (DISMS)
2. Parámetros de degradabilidad dietas (a= fracción rápidamente degradable, b= fracción lentamente degradable y c= tasa de degradación (h⁻¹) de la fracción b), ajustados al modelo Osrskov y McDonald (1979).

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

El proyecto tuvo una duración de 7 meses. De febrero a septiembre del 2023.

7.5 Procedimiento

7.5.1. Recolección y procesado del material vegetativo

Los frutos secos del cascalote (*Caesalpinia coriaria*), se recolectaron por las mañanas, en la comunidad de las Anonas, municipio de Tejupilco, Estado de México. Los cuales se almacenaron en una bolsa y se colocaron en una hielera de unicel para transportarlos al laboratorio de nutrición del Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Los cuales se molieron en el molino wiley con malla de 1mm. Una vez molidos se almacenaron en frascos para adicionar a las dietas y hacer sus respectivos análisis.



Figura 12.. Molienda del fruto seco del cascalote.

7.5.2. Preparación de la dieta experimental.

Para la dieta de caprinos en crecimiento se compraron los siguientes ingredientes: rastrojo, melaza, maíz amarillo molido, pastas de soya, salvado de trigo, mazorca molida y pre-mezcla mineral.



Figura 13. Compra de ingredientes de la dieta.

Así con base a los ingredientes y niveles de inclusión deseados se calcularon las cantidades a utilizar a 500 gramos de cada una de las muestras experimentales.

Cuadro 9. Muestra las cantidades utilizadas para formar las dietas a medio kilo.

NIVEL DE INCLUSIÓN DE DIETAS A 500 GRAMOS				
INGREDIENTE	DIETAS EXPERIMENTALES			
	D1	D2	D3	D4
<i>Caesalpinia coriaria.</i>	0	12.5	25	37.5
Rastrojo de maíz	142.5	130	117.5	105
Melaza	25	25	25	25
Maíz molido	25	25	25	25
Pasta de soya	72.5	72.5	72.5	72.5
Salvado de trigo	60	60	60	60
Mazorca molida	165	165	165	165
Premezcla mineral	10	10	10	10
	500	500	500	500

Una vez que se tenían todos los ingredientes y las cantidades a utilizar, se pesaron cada uno de estos en una báscula granataria, se les adiciono la harina del fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*) en los siguientes porcentajes (0 %, 2.5%, 5% y 7.5%), los cuales se mostraron anteriormente en el cuadro 8.

Luego se mezclaron manualmente y se guardaron en bolsas previamente marcadas con el tipo de dieta experimental. Posteriormente, se llevaron al molino wiley con malla de 1mm y una vez molidos se almacenaron en frascos previamente rotulados con el tipo de dieta para sus respectivos análisis.



Figura 14. Pesado, mezclado y molido de muestras de dieta experimental.

7.5.3. Dieta para la vaca

Para la dieta de la vaca se investigaron los diferentes alimentos que había disponibles en el rancho del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, después se decidió cuales se utilizarían como forrajes y como concentrados, posteriormente se balanceo para ver el nivel de inclusión, se investigó su aporte proteico y se calculó el nivel de proteína de la dieta.

Cuadro 10. Muestra los ingredientes utilizados y su nivel de inclusión en la dieta para la preparación de la vaca.

INGREDIENTES	% INCLUSIÓN	% PC/Ingrediente	%PC calculada
Pasta de soya	4	49	1.96
Urea	3	281	8.43
Melaza	10	6	0.6
Rastrojo	50	5	2.5
Sorgo	15	9	1.35
Mazorca molida	15	6	0.9
Minerales	3	0	0
	100		15.74

Cuadro 11. Ingredientes y cantidades utilizadas a 200 kilos para preparar la dieta de la vaca.

INGREDIENTES	CANTIDAD (KG)
Pasta de soya	8
Urea	6
Melaza	20
Rastrojo	100
Sorgo	30
Mazorca molida	30
Minerales	6
	200

Una vez que se tenían las cantidades para hacer 200 kilos de alimento se pesaron cada uno de los ingredientes y se mezclaron manualmente en el espacio de la posta zootécnica del centro Universitario UAEM Temascaltepec y se guardaron en costales para su utilización.



Figura 15. Mezcla de ingredientes de la dieta para la alimentación y preparación de la vaca.

7.5.4. Animal experimental.

Para el estudio de degradabilidad *in situ* se utilizó una vaca F1 (Holstein-Pardo suizo), de 530 ± 3 kg de peso vivo. Modelo biológico: Vaca fistulada ruminalmente, misma que recibió una dieta cuya proporción forraje: concentrado fue de (50:50), 10 días antes de la incubación. El forraje consistió en (50% rastrojo de maíz) y 50% concentrado que consistió (soya, sorgo, mazorca molida, urea, melaza y minerales con 16 % de PC). La cual permaneció estabulada.

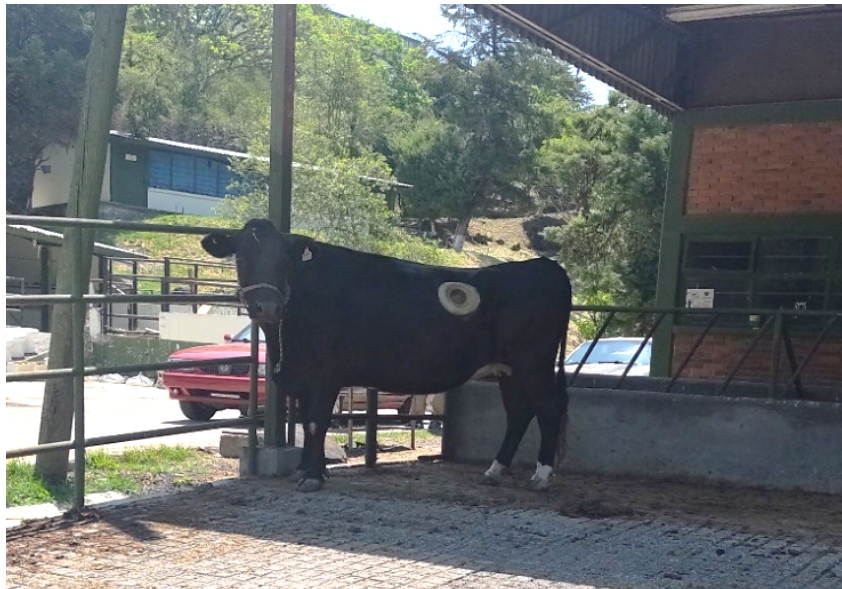


Figura 16. Vaca Holstein-Pardo suizo fistulada ruminalmente.

La frecuencia de alimentación fue 3 veces al día para su mantenimiento (5, 13, y 21 h) (NRC, 2016). Con la finalidad de tener en equilibrio el microbiota ruminal (bacterias, hongos y protozoos), los cuales serán responsables de la degradabilidad del sustrato (muestras problema) a través de una fermentación homogénea (frecuencias de alimentación) y parámetros fisicoquímicos estables (pH, AGV's (acético, propiónico y butírico) y osmolaridad).



Figura 17. Vaca consumiendo la ración proporcionada.

7.5.5. Técnica *in situ*

Para determinar la degradabilidad *in situ* de la dieta de caprinos adicionadas con diferentes porcentajes de cascalote se utilizó la técnica de bolsas de nylon suspendidas en rumen descrita por Orskov y McDonald, (1979), realizándose lo siguiente.

Secado de la bolsa

Se usaron bolsas *in situ* de Ankom Technology R510 dimensiones de 5 cm x 10 cm con una porosidad de 50 ± 10 micras. Las cuales se pesaron, marcaron y se sometieron a un proceso de secado en la estufa de aire forzado a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas hasta alcanzar el peso constante.



Figura 18. Bolsas en cajas pétri antes de pasar a la estufa para su secado.

Preparación de muestra

Se pesaron y se depositaron en las bolsas Ankom R510 previamente identificadas desde el secado, 3 gramos de MS de cada una de los cuatro tratamientos experimentales por duplicado para cada tiempo de incubación, después se sellaron con una selladora impulso de mesa (Impulse Sealer, AIE-200). Las bolsas con muestras (dietas experimentales) se aseguraron en una bolsa de monofilamento de polietileno de alta densidad previamente marcada por hora, las cuales se atarán en una cadena según su tiempo de incubación en la parte ventral del rumen de la vaca.



Figura 19. Sellando las bolsas.

Tiempo de incubación

Los tiempos de incubación para evaluar las muestras fueron 9 con la siguiente serie en horas (0, 4, 8, 12, 16, 24, 36, 48 y 72 hrs). Las incubaciones se realizaron por duplicado para cada uno de los 4 tratamientos, las cuales se introdujeron en orden inverso es decir se empezó la incubación con las horas (72, 48, 36, 24, 16, 12, 8, 4, 0). Una vez terminado el proceso de incubación se extrajeron todas las bolsas al mismo tiempo, se sometieron a lavados con agua corriente hasta que el agua salió clara.

Las bolsas del tiempo cero solo se sometieron a lavados con agua corriente durante 10 minutos, se dejaron secar a la intemperie por 12 horas para quitar el exceso de agua y

posteriormente se deshidrataron en la estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 horas hasta alcanzar peso constante, se pesaron para determinar la materia seca residual y poder hacer los respectivos análisis de datos.



Figura 20. Momentos de la incubación de las muestras en los diferentes tiempos.

7.5.6. Análisis Químico Proximal

El análisis químico proximal de la harina del fruto seco del cascalote y de las dietas experimentales se realizó en el laboratorio de nutrición animal. Las determinaciones químicas se realizaron de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC y fueron las siguientes; Humedad, Materia Seca, Cenizas, Proteína, Grasas o Extracto Etéreo, Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Acida y Lignina.

7.5.6.1 Humedad y Materia seca:

Para determinar humedad y materia seca se realizó lo siguiente:

1. Se hicieron charolas de papel, se marcaron para cada tipo de dieta, se pesaron vacías y se registró su peso en la libreta.
2. Así se colocaron las charolas de una en una en la balanza analítica, se tarareo a cero y se pesaron 50 gramos de cada una de las muestras registrando su peso en la libreta.

3. Posteriormente, se sometieron a secado en estufa de aire forzado a 65 °C durante 24 hrs, después se sacaron y se colocaron en un desecador, se dejaron enfriar por 10 minutos y se pesaron así hasta alcanzar el peso constante.
4. Una vez que se tenían los pesos constantes se procedió a los cálculos mediante la siguiente formula:

$$\% H = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$\% MS = 100 - \% H$$



Figura 21. Muestras sometidas a secado.

7.5.6.2 Cenizas (incineración en seco)

- 1) Primero se colocaron los crisoles (charola de aluminio) a secar en estufa de aire forzado.
- 2) Después, se pesaron se registró su peso y se marcaron.
- 3) En seguida, se pesó 1 gramo de cada una las muestras por triplicado.
- 4) Se encendió la mufla a 100 ° C y se colocaron todas las muestras.
- 5) Posteriormente, se elevó la temperatura poco a poco hasta 600 ° C y se dejó por 3 horas.

- 6) Luego de las 3 horas se bajó la temperatura a 100 ° C y se dejaron +12 horas para dejar enfriar.
- 7) Al final se sacaron de la mufla con pinzas, se colocaron en un desecador y se dejaron enfriar por 30 minutos.
- 8) Se pesaron y se registró su peso en cenizas.
- 9) Así mismo se procedió a los cálculos mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{((\text{Peso crisol} + \text{grs muestra}) - (\text{Peso crisol} + \text{peso ceniza})) \times 100}{\text{Gramos de la muestra}}$$



Figura 22. Muestras antes de encender la mufla y después de haber pesado las cenizas.

7.5.6.3 Extracto Etéreo (grasas)

Para desengrasar las muestras se utilizó el método por extracción de éter de petróleo (Soxhlet) usando bolsas Ankom F58 las cuales se sometieron a secado en estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante.

Se tomaron con unas pinzas de plástico se identificaron y se pesaron. Luego se les adicionó 0.5000 grs de muestra. En seguida se sellaron las bolsas con selladora de impulso de mesa y se colocaron 12 bolsas dentro de los cartuchos para después colocarlos en los refrigerantes y portadedales. Así mismo se colocaron 4 perlas de vidrio dentro de los matraces y se les adicionó tres cuartos de éter de petróleo, se colocaron mangueras para pasar agua al refrigerante. Se conectó el aparato y se encendió dejando que las muestras se desengrasaran durante 5 horas.

Después, se extrajeron las bolsas del cartucho y se dejó evaporar todo el éter, enseguida se metieron a la estufa a 65 °C por 24 hrs. Al final colocaron en un desecador se dejaron enfriar por 30 minutos, se pesó y registro su peso.



Figura 23. Lavado de muestras con éter de petróleo para desengrasar en equipo Soxhlet. Se calculó el porcentaje de grasa mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ EE} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso de bolsa}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

7.5.6.4 Proteína cruda

Para determinar proteína cruda se usó el método micro-Kjeldahl, realizando las 3 etapas que son; digestión, destilación y titulación.

Digestión

1. Primero se pesaron 0.5 gramos de muestra y se colocaron en un tubo de vidrio previamente identificado con marcador.
2. Se encendió la campana de extracción, se pesó y colocó 1 grs de muestra catalizadora y se mezcló con la muestra del tubo, en seguida se adiciono 5 ml de ácido sulfúrico.

3. Después, se colocaron los tubos en el digestor, se incrementó la temperatura gradualmente, se dejó una hora o hasta que la solución se tornó a un color verde pálido, se apagó y se dejó enfriar.



Figura 24. Muestras encendidas en horno para su digestión.

Destilación

1. Se midieron 100 ml de agua destilada y se agregó gradualmente al tubo para disolver el contenido y lavar el mismo.
2. La mezcla se vació a un matraz Kjeldahl con 3 perlas de vidrio. El matraz Kjeldahl se inclinó y se le adicionaron lentamente 15 ml de NaOH (hidróxido de sodio).
3. En el extremo inferior del condensador se colocó un matraz Erlenmeyer identificado con la muestra a destilar y se agregó 15 ml de ácido bórico, cuidando que la manguera del extremo quede sumergida dentro de la solución.
4. En seguida se colocó en la parrilla de destilación en el nivel 6 y se destiló hasta obtener 50 ml del destilado.



Figura 25. Preparación de muestra agregando ácido bórico.



Figura 26. Muestras en destilación.

Titulación

1. Se colocó una bureta de 50 ml y se llenó de HCL. Luego se dejó caer lentamente el ácido en la solución destilada hasta obtener un color rosa tenue y se registró la cantidad de ml de HCL gastados.



Figura 27. Instantes antes, durante y después de la titulación con ácido clorhídrico.

$$\% \text{ PC} = \frac{(\text{ml gastados de HCL}) (0.098) (0.014) (6.25)}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

7.5.6.5 Determinación de Fibra Detergente Neutra

La fibra detergente neutra se determinó con base al método de Van Soest de forma manual. Utilizando bolsas Ankom F58.

Se preparo la solución detergente neutra para 1 lt con pH de 6.7, utilizando los siguientes reactivos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Reactivos para la preparación de solución detergente neutra

Reactivo	Cantidad
Lauril sulfano de sodio	30 g
EDTA sal disódica di- hidratado	18.61 g
Tetraborato de sodio deca-hidratado	6.81 g
Fosfato disódico anhidro	4.56 g
Triethylene glicol	10 ml
Agua destilada	1 lt

- a) Las bolsas Ankom F58 se identificaron, pesaron y se sometieron a secado en estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante.
- b) Luego se les adicionó 0.5000 g de muestra y en seguida se sellaron las bolsas con selladora de impulso de mesa.
- c) En un vaso de precipitado de 1 litro se adiciono la solución detergente neutra y se calentó a 102 °C, después se agregaron las bolsas y un agitador, durante una hora.
- d) Posteriormente, se realizaron 4 lavados de 5 minutos con agua destilada caliente, en el segundo lavado se adicionaron 4 ml de amilasa.
- e) Se quito el exceso de agua de las bolsas con papel absorbente, en seguida se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml y se le agregaron 200 ml de acetona, remojando durante 5 minutos.
- f) Nuevamente se colocaron en papel absorbente eliminando el exceso de acetona, se dejó secar al aire libre, después se pasaron a la estufa a 60 °C durante 24 hrs para su secado.

g) Una vez secas se pasaron a un desecador durante unos minutos, se pesó y registro su peso para sus cálculos.

Cálculos

$$\% \text{ FDN} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso bolsa}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$



Figura 28. Muestras lavando con solución detergente neutra.

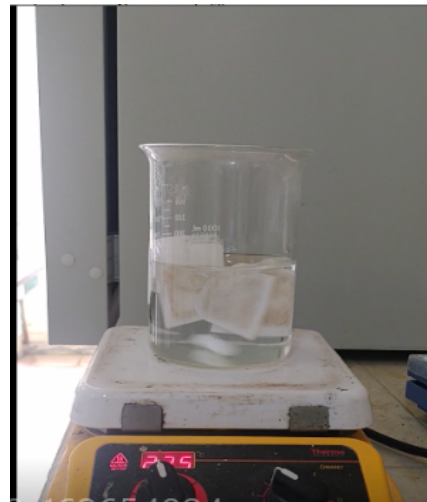


Figura 29. Muestras en lavados con agua.

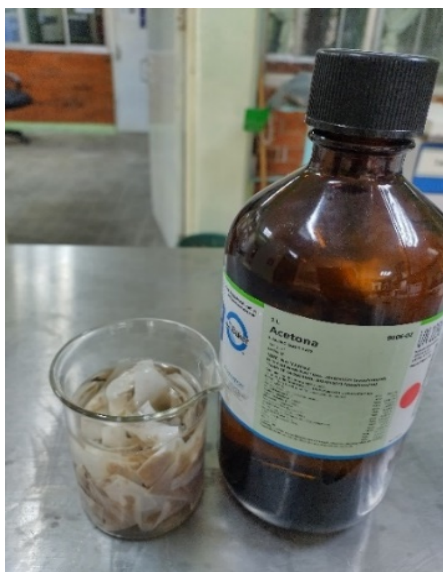


Figura 30. Muestras sumergidas en acetona.

7.5.6.6 Determinación de FDA

Para determinar fibras detergentes acidas fueron determinadas por técnica de Van Soest de forma manual usando las mismas bolsas de determinación de FDN., realizando lo siguiente:

- a) Se preparo la solución detergente acida en 1 lt de agua destilada, agregando 20 g de CBTa (Bromuro de cetil trimetil amonio), se encendió la campana de extracción y se adicionaron 27 ml de ácido sulfúrico lentamente.
- b) En un vaso de precipitado de 1000 ml se agregó la solución detergente acida y se calentó a 102 °C, después se agregaron las bolsas y un agitador, durante una hora.
- c) Después se hicieron 4 lavados de 5 minutos con agitación con agua destilada caliente.
- d) El exceso de agua de las bolsas se quitó con papel absorbente, en seguida se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml y se le agregaron 200 ml de acetona, remojando durante 5 minutos.
- e) Se colocaron en papel absorbente eliminando el exceso de acetona, se dejó secar al aire libre, después se pasaron a la estufa a 60 °C durante 24 hrs para su secado.
- f) Una vez secas se sacaron y pasaron a un desecador durante unos minutos, se pesó y registró su peso.

Cálculos $\% \text{ FDA} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso bolsa}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$

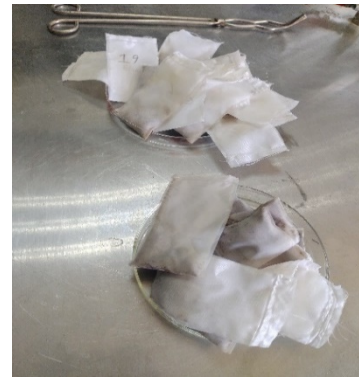
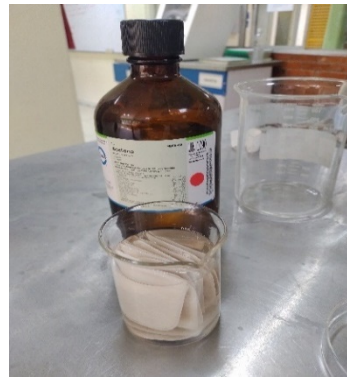
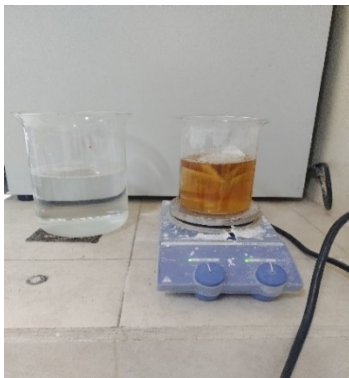


Figura 31. Muestras lavándose en solución acida, después en acetona finalmente se colocó a secar al aire libre para pasar después a la estufa de secado.

7.5.6.7 Determinación Lignina Insoluble en ácido de Caesalpinia coriaria.

Para determinar la lignina se usó el método estándar TAPPI T222 om-02. Primero se preparó el ac. Sulfúrico al 72%. Realizando lo siguiente:

1. Se investigó la densidad y pureza del H_2SO_4 (densidad = 1.83 g/ml y la pureza = 98%. Y se calculó la cantidad a preparar

$$\frac{100 \text{ ml}}{X} = \frac{100 \%}{72\%} \quad X = 72 \text{ ml ó g}$$

Volumen calculado de ácido, es igual a masa entre densidad.

$$V = \frac{72 \text{ g}}{1.83 \text{ g/ml}} \quad V = 39.34 \text{ ml}$$

$$\text{Entonces, } \frac{39.34 \text{ ml}}{X} = \frac{98 \%}{100 \%} \quad X = 40.143 \text{ ml } H_2SO_4$$

Por lo tanto, utilice; 40.143 ml H_2SO_4 y 59.857 ml de agua destilada con la campana de extracción encendida, se midieron las cantidades en probetas y en un matraz aforado de 100 ml, se colocaron 3 ml de agua y posteriormente se agregaron poco a poco los 40.143 ml de ácido, al final se aforo hasta los 100 ml una vez mezclados se dejó enfriar el H_2SO_4 al 72% para su utilización. Después se hizo lo siguiente:

1. Se colocó cada una de las muestras en un vaso de precipitado y se les agrego el ácido sulfúrico al 72% hasta cubrir bien la muestra. Se cubrió el vaso con un vidrio reloj y se puso en un baño maría a 20 °C con agitación frecuente por 2 h.
2. Se calentó 400 ml de agua destilada a 102 °C y después se le transfirieron los contenidos del vaso de precipitado y se le adicono ac. Sulfúrico al 3% y agua hasta obtener 575 ml de solución. Se dejo ebulir la solución durante 3 h manteniendo el volumen constante mediante la adición de agua caliente.
3. Posteriormente, se lavaron 5 veces durante 5 minutos las muestras con agua caliente., se secaron con papel absorbente, y después se pasaron a la estufa a 72 °C por 24 h para su secado.

4. Se sacaron y pasaron a un desecador dejándolas 10 minutos, se pesaron y registro su peso.

Cálculos

$$\% \text{ Lignina} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso bolsa}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

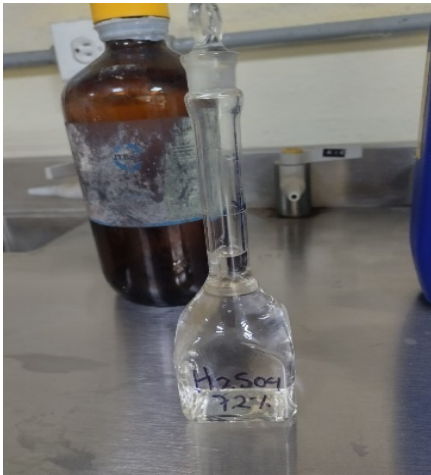


Figura 32. Ácido Sulfúrico al 72 %.

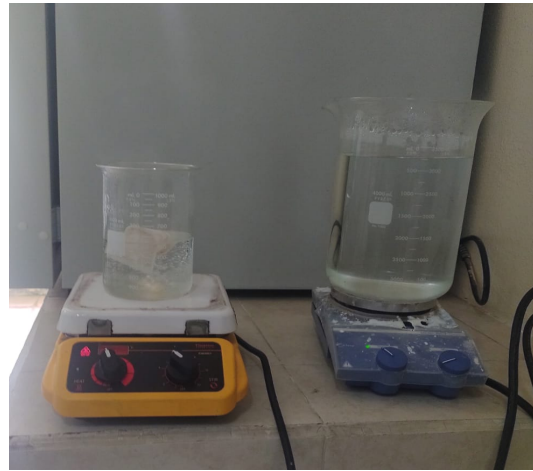


Figura 33. Muestras en ebullición.

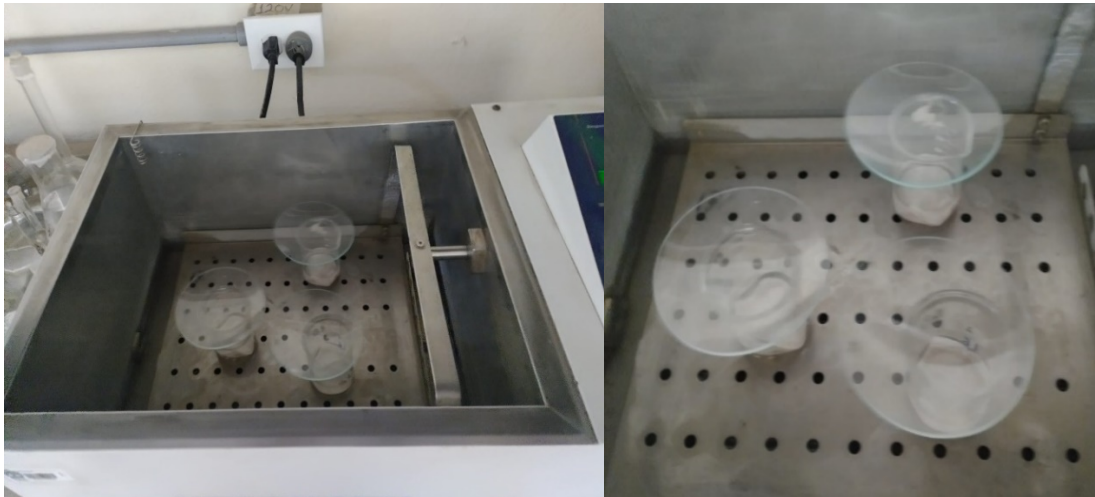


Figura 34. Muestras en baña maría con agitación constante durante 2 h.

7.6 Análisis de datos

Determinación de degradabilidad.

El porcentaje de degradabilidad de la materia seca observada se determinó por diferencia de pesos, analizando los residuos mediante la siguiente ecuación matemática:

$$\% \text{ de degradabilidad} = \frac{(\text{Peso Inicial de MS (g)} - \text{Peso Final de MS (g)}) \times 100}{\text{Peso Inicial de MS (g)}}$$

Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Orskov and Mac Donald, (1979), mediante la ecuación matemática no lineal para determinar el porcentaje de degradabilidad de la materia seca (MS) predicha vs tiempos de degradación y cinética del proceso.

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

Donde;

P = % de degradación en tiempo t

a = intercepto en la curva de degradación en el tiempo 0 (fracción soluble)

b = fracción insoluble pero potencialmente degradable

c = tasa de degradación de b-h

t = tiempo de incubación en horas

e = base de los logaritmos naturales (a+b ≤ 100)

Análisis y diseño estadístico

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico NLINMODELOM.SAS, bajo un diseño experimental completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde;

- Y_{ij} , la observación de la ie-sima unidad experimental
- μ , media general
- T_i , efecto del tratamiento
- e_{ij} , error

Análisis de varianza y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1989).

RESULTADOS

8.1 Caracterización del análisis químico proximal.

En el cuadro 13 se reflejan los resultados del análisis bromatológico realizado al fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*) especie forrajera evaluada. Donde se puede observar un 94.4% de materia seca, un 97.52 % de materia orgánica y un contenido de proteína cruda de (5.94 %), nivel de proteína ligeramente por debajo del nivel de proteína aceptable para rumiantes en mantenimiento (NCR, 1981) citado por Cecconello *et al.*, (2003).

Cuadro 13. Análisis bromatológico obtenido del fruto seco del cascalote (*C. coriaria*) (%BS).

COMPONENTE	CONTENIDO (%)
H	5.6
MS	94.4
Cenizas	2.48
Materia orgánica	97.5
Proteína cruda	5.94
EE	1.4
FDN*	8.0
FDA*	4.3

BS= Base seca, H= Humedad, MS= Materia seca, EE= Extracto Etéreo, FDN= Fibra Detergente Neutra y FDA= Fibra Detergente Acida. * muestras desengrasadas.

Los resultados de los análisis proximales de la dieta experimental adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco del cascalote. Se pueden observar (Cuadro 14) que presentan un contenido de proteína cruda similar la dieta base (D1), D2 y D3, con porcentajes ligeramente arriba del 13.3 % de la proteína calculada. La dieta 4 tiene un porcentaje de proteína cruda similar a la calculada. Mientras que el % MS y % EE de las cuatro dietas están por arriba del % MS y % EE calculados. En lo que refiere al %

FDN y % FDA obtenidos, los porcentajes están un poco por debajo de los valores calculados.

Cuadro 14. Caracterización bromatológica de las cuatro dietas experimentales utilizadas (%BS).

COMPONENTE	Dieta y nivel de inclusión de C. coriaria.			
	D1(0%)	D2 (2.5%)	D3 (5%)	D4 (7.5%)
H	7.40	7.50	7.50	7.40
MS	92.6	92.5	92.5	92.6
CENIZAS	4.19	4.52	5.32	5.39
MATERIA ORGÁNICA	95.81	95.48	94.68	94.61
PROTEÍNA CRUDA	13.5	13.9	13.8	13.1
EE	11.8	12.4	14	13.2
FDN*	40.0	38.0	38.0	38.0
FDA*	19.5	19.5	18.5	18.5

%BS= porcentaje base seca, H= Humedad, MS= Materia seca, EE= Extracto Etéreo, FDN= Fibra Detergente Neutra y FDA= Fibra Detergente Acida. * muestras desengrasadas.

En el cuadro No. 15 se muestra el análisis bromatológico obtenido de la dieta usada para alimentación y preparación de la vaca. Donde se puede observar un contenido de proteína cruda de 16.1% similar a la proteína calculada de (15.74%).

Cuadro 15. Composición química nutricional de dieta típica para alimentar la vaca (%BS).

COMPONENTE	CONTENIDO
H	8.7
MS	91.3
Cenizas	9.08
Proteína cruda	16.1
EE	6.6
FDN	45.0
FDA	32.3

H= Humedad, MS= Materia seca, EE= Extracto Etéreo, FDN= Fibra Detergente Neutra y FDA= Fibra Detergente Acida. * muestras desengrasadas.

8.2 Digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS).

Se muestra el porcentaje promedio de la degradabilidad ruminal observada y predicha de la materia seca de dieta para caprinos adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco de *Caesalpinia coriaria* a diferentes tiempos de incubación (Cuadro 16), después de haber sido retiradas del rumen y secadas, se observa que a la hora 72 las diferentes dietas alcanzaron un porcentaje promedio de degradabilidad ruminal observada alrededor del 84%, siendo la D3 (%5 de inclusión de C. c.) el más bajo con 83%.

Cuadro 16. Porcentaje promedio de degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca de las dietas en los diferentes tiempos de incubación.

Tiempo de incubación (h)	DEGRADABILIDAD PROMEDIO (%)							
	Dieta y nivel de inclusión de <i>C. coriaria</i>							
	D1 (0%)		D2 (2.5%)		D3 (5%)		D4 (7.5%)	
	Observada	Predicha	Observada	Predicha	Observada	Predicha	Observada	Predicha
0	28.9	30.15	31.7	30.67	29.5	30.29	29.9	31.32
4	37.7	36.21	37.0	35.93	36.9	34.73	37.3	35.91
8	41.6	41.70	39.7	40.81	37.7	38.93	40.5	40.24
12	45.9	46.68	41.9	45.33	44.1	42.92	56.2	44.32
16	53.0	51.21	50.5	49.53	44.9	46.69	45.6	48.17
24	58.9	59.06	57.3	57.03	53.8	53.68	54.2	55.22
36	65.2	68.39	67.4	66.36	62.2	62.93	62.1	64.39
48	77.6	75.45	74.8	73.82	73.0	70.96	73.8	72.11
72	85.0	84.96	83.5	84.53	83.2	84.16	84.0	84.17

D1= Dieta base, D2= Dieta base adicionada con 2.5% de harina de fruto seco de cascalote, D3= Dieta base con adición del 5% de harina de fruto seco de cascalote, D4= Dieta base con 7.5% de inclusión de harina del fruto seco del cascalote.

Los parámetros generados por el modelo matemático de Ørskov & McDonald (1979), (Cuadro 17) muestran que no hay diferencias significativas entre las dietas a ($p < 0.05$) de la fracción soluble (a), pero si hay diferencias en los valores de la fracción insoluble pero potencialmente degradable (b) presentando la D3 y D4 los porcentajes mas altos. Así como también diferencias en las tasas de degradación de b^{-h} (c) sobre todo en las dietas con mayor porcentaje de inclusión de harina del fruto de *Caesalpinia coriaria*.

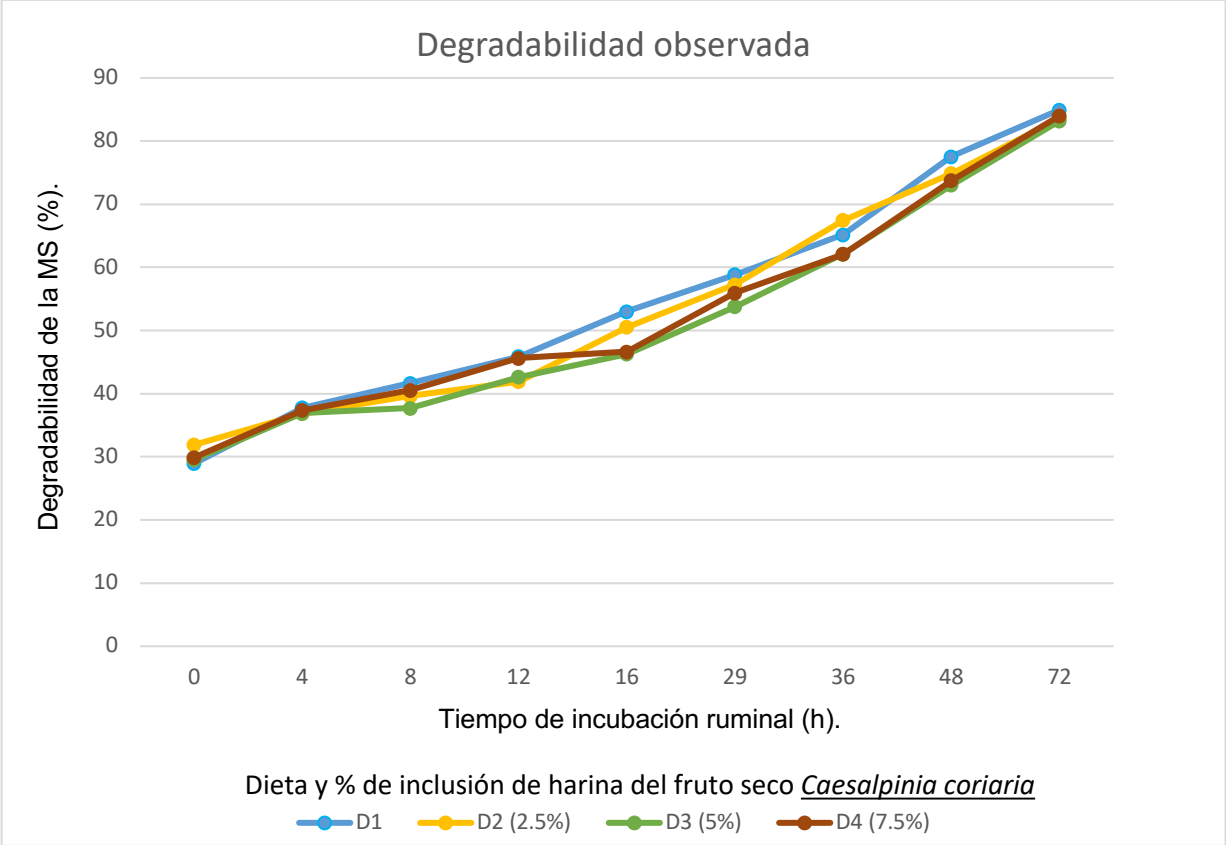
Cuadro 17. Parámetros de cinética ruminal de la MS (materia seca) de dieta basal para caprinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco de cascalote (*Caesalpinia coriaria*) en 9 tiempos de incubación.

Fracciones	Parámetros de cinética ruminal de las dietas experimentales			
	D1	D2	D3	D4
a	30.1518 ^a	30.6675 ^a	30.28925 ^a	31.3161 ^a
b	69.48135 ^a	73.0771 ^a	142.40115 ^b	87.31135 ^c
c	0.023850 ^a	0.01875 ^a	0.011605 ^b	0.014165 ^b

a (fracción soluble completamente degradable en rumen), b (fracción insoluble pero potencialmente degradable en rumen), c (tasa de degradación de b-h). D1 (Dieta base), D2 (Dieta base adicionada con 2.5% C.c.), D3 (Dieta base adicionada con 5% C.c.), D4 (Dieta base adicionada con 7.5% C.c.). Medias en la misma fila con distinta letra son diferentes ($P \leq 0.05$).

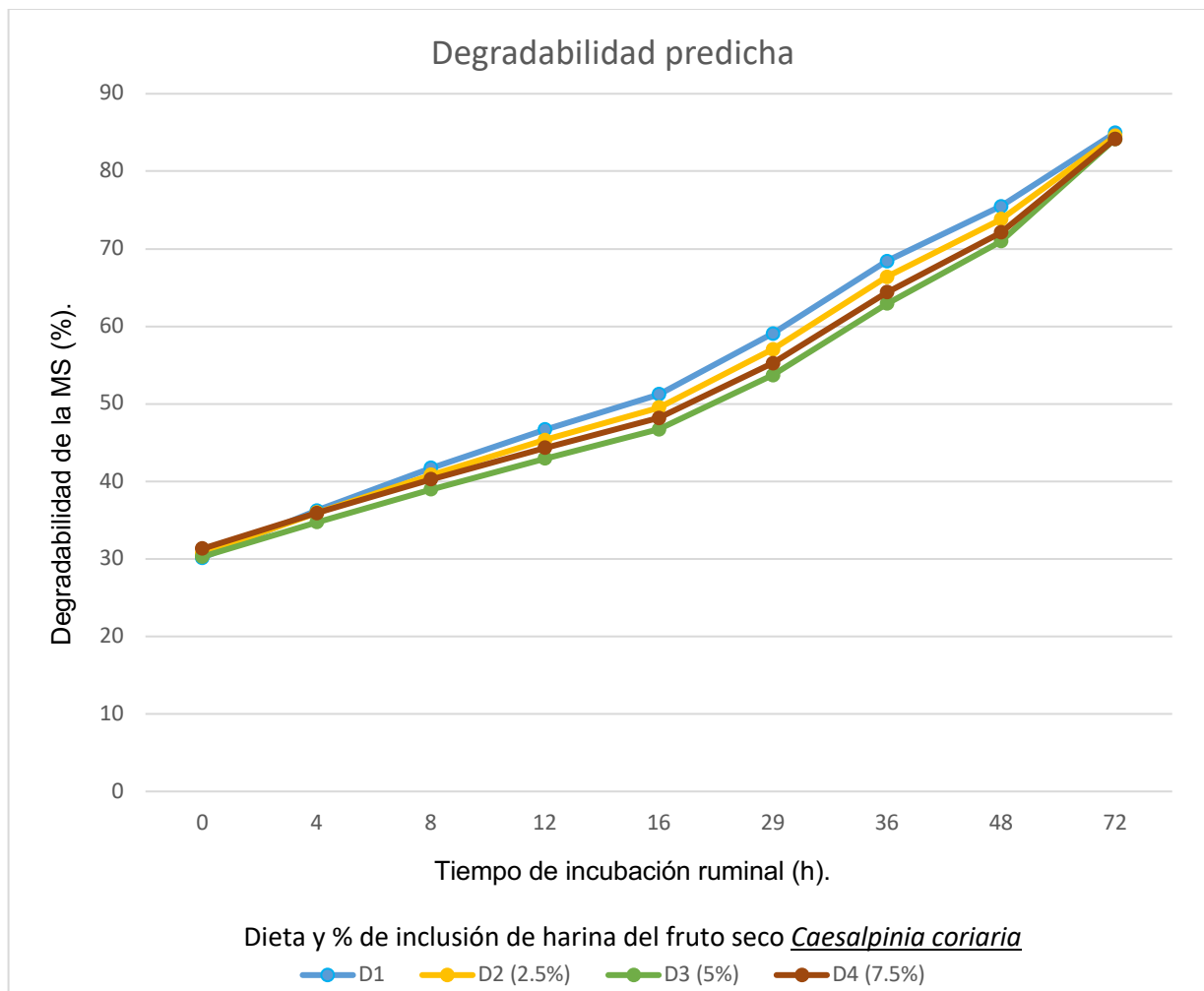
Las gráficas integrales de las dietas experimentales utilizadas muestran la cinética de degradación ruminal *in situ* de la materia seca observada (Figura 35), de las 0 a las 8 horas la degradación ruminal es similar entre las dietas, pero a partir de las 8-72 h la degradabilidad ruminal de las dietas (D2, D3, D4) es diferente respecto a la dieta base ya que disminuyen, sobre todo la D3 que tiene un porcentaje de inclusión del 5% esta alcanza una degradación del 83.2%.

Figura 35. Graficas integrales de (D1, D2, D3, D4) de cinética de degradación ruminal in situ de la MS, de dieta típica para caprinos adicionada con diferentes porcentajes de harina del fruto seco del cascalote Caesalpinia coriaria.



En la figura 36 se puede observar y comparar la cinética de degradación ruminal *in situ* de la MS de las dietas (D1, D2, D3, D4) predichas según el modelo matemático de Ørskov & McDonald (1979). Las gráficas integrales muestran que no hay diferencias en la degradación ruminal de las dietas de las 0 - 4 hrs ya que se ven iguales, pero a partir de las 4 – 48 horas el porcentaje de degradabilidad de la MS disminuye conforme al tiempo y nivel de inclusión de *C. coriaria*, indicando que a partir de este tiempo se redujo el proceso degradativo de la MS de las dietas en comparación con la dieta testigo. Mientras que la D2 mantiene una degradabilidad ruminal muy similar a la degradabilidad de la dieta testigo. Alcanzando las dietas una degradabilidad ruminal *in situ* de la MS similar alrededor del 84% y 85 % a las 72 horas.

Figura 36. Representación gráfica integral de (D1, D2, D3, D4) de la degradabilidad in situ de la MS predichas según el modelo matemático de Ørskov & McDonald (1979) de dieta típica para caprinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco del cascalote.



h= hora, D1(dieta base), D2 (dieta base con 2.5% de harina del fruto seco del cascalote), D3 (dieta base con 5% de harina del fruto seco del cascalote), D4 (dieta base con 7.5% de harina del fruto seco del cascalote).

DISCUSIÓN

El cascalote dentro de su composición química nutricional contiene metabolitos secundarios bioactivos que varían dependiendo de las condiciones geográficas de su entorno. Entre estos metabolitos están fenoles, glicósidos, aceites esenciales, alcaloides, cumarinas, flavonoides y saponinas (Sánchez *et al.*, 2022). Uno de los compuestos secundarios específicos que se ha estudiado a través de los años en la nutrición de los rumiantes son los taninos contenidos en sus frutos y estos presentan una concentración del 40 - 45% (Palma, 2018).

9.1 Análisis químico proximal del fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*) y dietas experimentales.

Los resultados obtenidos de la composición química nutricional del fruto seco de *Caesalpinia coriaria* mostrados en el Cuadro 13, son muy similares en comparación con la composición química reportada por varios investigadores a través de los años. Se puede observar que el 94.4% de MS obtenido en el presente trabajo coincide con los resultados de Morales (1998), Camacho *et al.*, (2014) y Cipriano *et al.*, (2018) con porcentajes de 94, 93.5, 94.4 de MS reportados respectivamente. Y ligeramente bajo respecto al 99.6% de MS obtenida por Campos (2020).

En lo que respecta a proteína cruda se obtuvo el 5.94 % contenido bajo respecto al (8%) de PC alcanzado por Campos (2020) y Cipriano *et al.*, (2018). Y superior a los 4.84%, 5.34% y 4.84 % de PC encontrados por Román *et al.* (2007), Rodríguez *et al.* (2016); y Mora *et al.* (2018). En lo que a cenizas se refiere los (2.48%) conseguidos durante los análisis muestran que los resultados a través de los años son muy similares a los obtenidos en esta investigación, solo muy superior a los 0.10 % cenizas reportadas por Campos (2020).

Mientras que para grasa (EE), Morales (1998) y Camacho *et al.* (2014) reportaron contenidos superiores de 6.47 y 6.38 % respecto al 1.4 % EE alcanzado en el presente estudio. Pero superior a los 0.99%, 0.20% y 0.19% reportado por Cecconello *et al.* (2003), Román *et al.* (2007 y Mora *et al.* (2018) en sus investigaciones.

Para las determinaciones de FDN y FDA diferentes autores reportaron en sus trabajos porcentajes inferiores para ambos análisis, que van desde 8.89 – 20.63 % para fibra detergente neutra y de contenidos que varían entre 8.18 - 13% de fibra detergente acida a las obtenidas durante la investigación de 8.0 % para FDN y 4.3 % de FDA. Se puede observar en el cuadro 17 que el porcentaje de FDN y FDA obtenido durante el presente trabajo de investigación es muy inferior a las determinaciones reportadas por diferentes autores a través de los años.

En el cuadro 17 se concentran los diferentes resultados de análisis químicos realizados por diferentes autores, los primeros citados por Palma (2018), otros investigados y los obtenidos en este trabajo, donde se pueden observar que hay una variabilidad entre los resultados. La cantidad de proteína cruda va de 3.84 al 8.4 %, de fibra arriba del 8% y de extracto etéreo mucho más variable. Estas diferencias pueden ser atribuidas por las condiciones ambientales (suelo, temperatura, humedad, etc.), el lugar, etapa y estación de cosecha. Así como de los métodos utilizados para su análisis.

Cuadro 18. Resultados del AQP del fruto del cascalote de varios autores y lo obtenido en esta investigación.

<i>Autores/ Determinación</i>	Morales (1998)	Ceconello <i>et al.</i> , (2003)	Román <i>et al.</i> (2007)	Camacho <i>et al.</i> (2014)	Rodríguez, (2016)	Cipriano <i>et al.</i> , (2018)	Mora <i>et al.</i> , (2018)	Campos, (2020)	Resultados obtenidos
MS %	94.4	----	----	93.50	95.38	94.4	97	99.6	94.4
PC %	4.55	4.09	4.84	3.85	5.34	7.99	4.84	8.4	5.94
E. E %	6.47	0.99	0.20	6.38	0.57	----	0.19	2.17	1.4
C %	1.93	2.54	2.58	1.87	2.23	2.5	2.43	0.10	2.48
FDN %	9.14	18	10.30	9.78	8.89	20.63	10.3	----	8.0
FDA %	9.02	13	8.18	9.18	8.32	10.05	8.18	----	4.3

AQP= Análisis Químico Proximal, MS= Materia seca, PC= Proteína cruda, EE= Extracto Etéreo, C= Cenizas, FDN= Fibra Detergente Neutra y FDA= Fibra Detergente Acida.

Respecto al análisis bromatológico realizado a la dieta experimental adicionada con diferentes niveles de harina del fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*), los valores encontrados de (D1, D2, D3, D4) en el presente estudio en cuanto al % MS son

superiores a los calculados, pero no hay diferencias entre las dietas. En lo que a cenizas se refiere se puede observar porcentajes ligeramente diferentes entre las dietas que van de 4.19 – 5.39 %.

En relación al % PC obtenido entre las dietas existen diferencias mínimas entre estas pues los contenidos alcanzados van de 13.1 a 13.9 % PC., solo la D4 con 13.1 %PC es similar a los 13.3% PC calculada. Para grasa los porcentajes calculados van de 1.5 - 1.4 % EE, contenidos inferiores a los logrados en esta investigación (11.8 - 13.2% EE). También se puede ver que para FDN no hay diferencias entre las dietas, pero son valores muy bajos respecto a los porcentajes calculados. La Fibra Detergente Acida (FDA) tuvo porcentajes de 19.5% para D1 y D2, mientras que para D3 y D4 se obtuvo un 18.5% valores relativamente bajos a los calculados que van de 13.1- 24.6 %).

9.2 Digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS)

Los frutos del cascalote que poseen compuestos secundarios (taninos) tienen efectos negativos sobre la degradabilidad integral de la MS en dietas experimentales (D1, D2, D3 y D4), se puede observar en los resultados observados y predichos (Cuadro 16) que la adición de diferentes niveles de harina del fruto seco del *Caesalpinia coriaria* no mejora significativamente la degradabilidad ruminal en comparación con la dieta basal, sino que más bien la deprime.

Así las medias de degradabilidad ruminal de las tres dietas fueron similares en los diferentes tiempos de incubación en comparación con la dieta basal o testigo. Alcanzando una degradabilidad ruminal promedio de la MS predicha alrededor del 85% (D1, D2) y del 84% para (D3, D4) a las 72 hrs.

Estos resultados difieren del 89.78 % de degradabilidad verdadera *in vitro* de la materia seca (DVIVMS), pero concuerdan con el 84.36 % degradabilidad *in situ* de la materia seca (DISMS) de la forrajera arbustiva San Joaquín reportados por Giraldo *et al.*, (2007), en la investigación sobre comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales.

Las diferencias entre las dietas son mínimas y esto probablemente corresponda al animal, la composición química de la dieta y cantidad de fruto añadido, lo que provoca cambios en la fermentación ruminal ya que diferentes investigaciones reportan efectos positivos en bajas concentraciones de taninos en dietas para rumiantes (Hervás, 2001; De Frutos *et al.*, 2005; Zarza 2017). Así Campos (2020), menciona que la inclusión del 3% de taninos condensados en la dieta de los rumiantes puede ser ecológica y nutricionalmente eficiente.

Los parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la MS (parámetros a, b y c) generados por el modelo de Ørskov & McDonald (1979) tiene efectos significativos ($P < 0.05$) en la interacción de dieta - fruto del cascalote encontrándose los valores más altos en D3 (142.40%) y D4 (87.31 %) en comparación con los 69.48 y 73.07 % alcanzados en D1 y D2 de la fracción insoluble pero potencialmente degradable en rumen (b); mientras que no se registró un efecto similar sobre la degradabilidad de la fracción soluble en rumen (a) cuyos porcentajes son muy similares entre las dietas oscilando entre 30.15 – 31.31 %, siendo la dieta cuatro (31.31%) la que alcanzo el porcentaje ligeramente superior en comparación con la dieta base (D1). Esto se explica por el efecto de las diferencias en las tasas de degradación de $b h^{-1}$ (c) que bajo de 0.02 a 0.01 %/h en las cuales no se observan diferencias significativas (cuadro 17), pero los valores se redujeron a partir de la adición del 5% de *C. coriaria* porcentaje parecidos a los reportados por Fernández (2020) que menciona que la adición de taninos a concentraciones del 5 – 10 % deprimen la digestibilidad.

La representación gráfica del modelo de Ørskov & McDonald (1979) (Figura 36) a los valores de degradabilidad observados (Figura 35) demuestran la marcada disminución a una ($P < 0.05$) de la DISMS de las dietas. Los parámetros generados indican diferencias del aumento en la inclusión de harina del fruto de *C. coriaria* sobre la tasa constante de degradación (c) y de la fracción insoluble pero potencialmente degradable en rumen (b). De las 0 – 4 hrs las dietas tuvieron un ritmo de tasa de degradación paralelo, lo cual posiblemente se debe a la fase de preparación para la digestión de los nutrientes de la dieta, pero de las 4 – 48 hrs el porcentaje de degradabilidad de la MS disminuyo conforme al tiempo y nivel de inclusión de *C. coriaria*, indicando que a partir de este tiempo se

redujo el proceso degradativo de la MS de las dietas en comparación con la dieta testigo. Esto se puede atribuir a la composición química nutricional y a la cantidad de taninos contenidos en los frutos, ya que uno de los efectos más señalados por diversos investigadores es la disminución del ritmo de degradabilidad ruminal de los alimentos (Hervás, 2001; De Frutos *et al.*, 2005; Lasa *et al.*, 2010).

La adición del 5% y 7.5% de *Caesalpinia coriaria* en la dieta ejerció diferencias modificando los valores de los parámetros (b y c), ya que al disminuir la degradabilidad de la dieta aumento la fracción insoluble pero potencialmente degradable en rumen (b) y al mismo tiempo disminuyo la tasa de degradación de b^{-1} (c) a 0.01%/h, mientras que la inclusión del 2.5 % de *C. coriaria* no cambio significativamente los parámetros y mantuvo una degradación similar a la dieta base. Esta disminución en la degradabilidad ruminal de la MS vs tiempo se atribuye a los cambios en la fermentación ruminal y a las tasas de degradación inferiores a $0.02\ h^{-1}$ características de alimentos de baja calidad que necesitan mayor tiempo de permanencia en el ambiente ruminal para su degradación (Araiza *et al.*, 2013) o al efecto protector de los taninos contra la degradación de los nutrientes por los macroorganismos ruminales (De Frutos *et al.*, 2005; Lasa *et al.*, 2010; Fernández, 2020).

CONCLUSIÓN

La adición de diferentes porcentajes de harina del fruto seco del cascalote (*Caesalpinia coriaria*) tiene efectos negativos sobre la fermentación ruminal de la dieta, puede ser utilizada en la alimentación de caprinos en crecimiento ya que la inclusión de diferentes niveles del fruto seco en la dieta comprueba que no mejora ni disminuye la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca, pero si modifica los parámetros de degradación a nivel ruminal.

De los 3 niveles de inclusión de *C. coriaria* a la dieta base; el nivel 5% y 7.5% afectan los parámetros de la cinética de fermentación. El nivel de inclusión 2.5% beneficio ligeramente los parámetros evaluados, ya que mantuvo la degradación ruminal normal respecto a la dieta base. Por lo tanto, se concluye que el efecto de los frutos del cascalote sobre la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS de la dieta dependen claramente de la dosis y la adición de bajas concentraciones de frutos sugieren efectos benéficos por lo que se puede utilizar como aditivo en la nutrición de rumiantes.

REFERENCIAS

- Aguamarket.com, (2021). Diccionario: Degradabilidad. Fecha de acceso:04/08/2023. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=2872&termino=d>
- Alatorre, A., Guerrero, J. D., Olvera, J. I., Aceves, E. y Vaquera, H. (2018). Leguminosas forrajeras herbáceas de enredadera, recursos poco valorados en el trópico seco. Rev. Fitotec. Méx. Vol. 41. Núm. (4): 403 – 411 pp.
- Araiza R, E., Delgado L, E., Carrete C, FO., Medrano R, H., Solís S, A., Murillo O, M. y Haubi S, C. (2013). Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. Avances en Investigación Agropecuaria. Vol. 17 No. (2):79-96. [fecha de Consulta 26 de octubre de 2023]. ISSN: 0188-7890. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83726339007>
- Bochi, O., Carro, M. D., Valdés, C., González, J. S., López, S. (1999). Digestibilidad in vitro de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. Archivo Zootécnico. Número 48., pp: 51-61.
- Campos P, A. (2020). Evaluación de dietas para cabras con fruto de cascote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq) Willd.) sobre la producción de gas in vitro y su impacto sobre las emisiones de metano”. Tesis. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. 43 páginas. Fecha de acceso 19/08/2023. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109619/Tesis%20Maestr%C3%ADa%20ADELINA%20CAMPOS%20PEREZ%20%28SIN%20datos%20sensibl%29.pdf?sequence=4>
- Carrera, J. A. (2012). Importancia de las leguminosas forrajeras. Leguminosas forrajeras. Disponible en: <https://buenaproduccionanimal.wordpress.com/2012/03/16/importancia-de-las-leguminosas-forrajeras-2/>
- Castillo L, E., & Domínguez O, M. G., (2018). Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. Rev. Mex. Cienc. Pecu 2019; Vol.10 No. (1) 120-148 pp. Pdf. Fecha de acceso: 10/09/2023. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v10n1/2448-6698-rmcp-10-01-120.pdf>

Cecconello C, G., Benezra S, M. y Obispo N, E. (2003). Composición química y degradabilidad ruminal de los frutos de algunas especies forrajeras leñosas de un bosque seco tropical. *Zootecnia Tropical*, 21(2), 149-165. Recuperado en 13 de octubre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692003000200004&lng=es&tlng=es.

Cipriano M., Camacho L. M., Damaso D., Olivares J., y Rojas S. (2018). Comportamiento productivo de caprinos suplementados con diferentes niveles de taninos en fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd). *Medio ambiente y recursos naturales. Foro de Estudios sobre Guerrero*. 2019, mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 745 – 754.

Club Ganadero MSD. (2022). Diferencia entre leguminosas y gramíneas. Fecha de acceso: 11 de abril del 2023. Disponible en: <https://www.clubganadero.com/blog/diferencia-entre-leguminosas-y-gramineas.html>

Cordero & Boshier. (2003). Leguminosae *Caesalpinioideae Caesalpinia coriaria*. Árboles de Centroamérica un manual para extensionistas. Orton IICA / CATIE. Pp 415-418.

Cuadra, Jesús. (2008). Utilidad de los árboles. *Ecología verde*. Fecha de acceso 28 de mayo del 2019. Disponible en: www.ecologiaverde.com/utilidades-de-los-arboles-764.html

De Frutos F. P., Fernández B. F, Fernández R. J., Giráldez G. J., González L. C., Hervás A. G., Maga G. Y., Miñambres R. B., Lavin G. P., y Ruiz M. A. (2005). Taninos en nutrición de rumiantes. 25 años de investigación agropecuaria. Editorial MAAS. España. Pp 137-145. Disponible en: <file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Los%20taninos%20en%20la%20nutrici%C3%B3n%20de%20los%20rumiantes.pdf>

Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), (2019). *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Fecha de acceso: 12/10/2023. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:26605>

Estrada, J. G., Martínez, R., Andrade, E., Martínez, A. R. y Castelán, O. A. (2012). Las arvenses y especies nativas utilizadas como forraje en los sistemas ganaderos, como mejoradoras de la eficiencia ruminal y reductoras de emisiones de metano. Castelán, O. A., Álvarez, A., Bernúes, A., Ku Vera, J. C. y Silveira, V. C. (2012). *Avances de Investigación en Producción Animal en Iberoamérica*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán Mérida. Yucatán, México., pp. 506. Pdf.

FAO. (2019). Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Fecha de acceso: 29 de mayo del 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>

Fernández. M. A. (2020). Taninos: Efecto de los taninos en la producción de carne y leche. Engormix. Lechería. Taninos en bovinos. Fecha de acceso: 23/08/2023. Disponible en: https://www.engormix.com/lecheria/taninos-bovinos/taninos-efecto-taninos-produccion_a45300/

Fundación Gondwana para el Desarrollo Sostenible. (2012). Importancia de los árboles. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Pdf. Fecha de acceso: 20 de mayo del 2019. Disponible en: <https://miradaverde.files.wordpress.com/2012/10/funcion-de-arboles-bosques.pdf>

García C, D., (2016). Aspectos generales sobre el rumen y su fisiología. Ganadería.com. Fecha de acceso: 15/08/2022. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/Aspectos-generales-sobre-el-rumen-y-su-fisiologia>

García H, C., Rojo R, R., Mendoza G, P., González C, M., Zamilpa, A., Mondragón A, J., Villa M, A., Olivares P, J., Tapia M, D., Olmedo J, A. (2022). In vitro and in vivo anthelmintic properties of *Caesalpinia coriaria* fruits against *Haemonchus contortus*. ScienceDirect. Experimental Parasitology. Volumen 242, <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108401>. Disponible en: (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014489422001953>)

García T, J. & Gingins, M., (1969). Anatomía y fisiología del aparato digestivo de los rumiantes Sitio Argentino de Producción Animal. PDF. Pp 4. Fecha de acceso 22/08/2023. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/02-anatomia_fisiologia_digestivo.pdf

García, Y. & García Y. (2015). Uso de aditivos en la alimentación animal: 50 años de experiencia en el Instituto de Ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Vol. 49, Núm. 2., pp: 173-177.

Gettyimages, 2023. *Caesalpinia coriaria*. Fecha de acceso: 10/08/2023. Disponible en: <https://www.gettyimages.com.mx/detail/foto/old-engraved-illustration-of-divi-divi-imagen-libre-de-derechos/1341680754?language=es>

Giraldo L. A, Gutiérrez L. A, y 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; Volumen 20: 269-279 pp. Fecha de acceso: 04/08/2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023025005.pdf>

Gómez Paternina, (2018). Productos naturales: metabolitos secundarios y aceites esenciales. UNIAGRARIA. Fundación Universitaria Agraria de Colombia.pdf. 50pp. F. acceso: 10/10/2023. https://www.researchgate.net/publication/329197168_PRODUCTOS_NATURALES_METABOLITOS_SECUNDARIOS_Y_ACEITES_ESENCIALES

González G, JC., Madrigal S, X., Ayala B, A., Juárez C, A. y Gutiérrez V, E. (2006). Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de Tierra Caliente del Estado de Michoacán, México. Investigación Pecuaria para el Desarrollo Rural. Vol. 8, No. 8. Fecha de acceso 15/09/2022 disponible en: <https://www.lrrd.org/lrrd18/8/gonz18109.htm>

González, H., Lozano, G. A., Hernández, H. G., Orozco, A. y Holguín, C. (2015). Degradabilidad ruminal de subproductos alimenticios en borregos. Efecto de la relación Forraje-Concentrado en la dieta. Nutrición de rumiantes. 1ra Edición., Subdirección de publicaciones. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, Chihuahua. 34 pp.

González, L. N. & Durand L. (1998). Parte II: Recursos naturales. Biodiversidad. Conabio. La diversidad biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera edición. 293 pp. Fecha de acceso: 29 de mayo del 2019. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/divBiolMexEPais4.pdf>

Google Earth. (nd). Fecha de acceso 30 de mayo del 2019. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@19.0449765,-100.0516809,1712.35321845a,992.15645207d,35y,0h,44.99999574t,0r>

Hervás, Gonzalo. (2001). Los taninos condensados de quebracho en la nutrición de ovejas. Tesis doctoral. Departamento de producción animal I. Universidad de León. 209 pp.

Hofmann R.R. (1993). Anatomía del ducto gastro-intestinal. Church D. C. (1993). El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 15-46.

Isan, A. (2017). La importancia de los árboles para el medio ambiente. Ecología verde. Fecha de acceso: 27 de mayo del 2019. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/la-importancia-de-los-arboles-para-el-medio-ambiente-509.html>

Jewsbury, 2016. Plantas forrajeras. Facultad de ciencias agropecuarias. UNC. Fecha de acceso 01 de junio del 2019. Disponible en:

<http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/botaxo/wp-content/uploads/sites/14/2016/08/Forrajeras.-2016.pdf>

Lasa J., Mantecón C., y Gómez M. A. (2010). Utilización de taninos en la dieta de los rumiantes. Sitio Argentino de Producción Animal.pdf. pp.3. fecha de acceso: 23/09/2023. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/33-taninos.pdf

Manuel, P. A. (2018). “Efecto de los taninos del fruto del cascalote (*Caesalpinia Coriaria* Jacq. Willd) sobre el comportamiento productivo, parámetros de fermentación ruminal, rendimiento y calidad de canal caprina”. Tesis. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. Universidad Autónoma de Guerrero. pp. 55. Fecha de acceso 19/06/2023. Disponible en: http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/444/OK06031480_maestria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Merchen, N. R (1993). Digestion, Absorción Y Excreción en los Rumiantes. Church D. C. (1993). El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 191-222 pp.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (2020). Glosario de nutrición animal. Pº Infanta Isabel, 1 28014 Madrid (España). Fecha de acceso: 12/09/2023. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/app/nutricionanimal/glosarioNutricionAnimal.aspx>

Mora, A., Román, M. L., González, G. A. y Barrientos, L. (2018). Composición química del cascalote *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., y diversidad de usos en el medio rural, del trópico seco. Revista de Investigación y Desarrollo. Vol. 4. Núm.12: pp. 24-28.

National Research Council (NCR). 1981. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D.C. pp 30-46.

Nava C, C. & Díaz C, A. (2001). Introducción a la digestión ruminal. Sitio Argentino de Producción Animal. Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM. Pdf.13 pp. Fecha de acceso: 15/19/2023. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf

Nouel B, G, (2003). Manual de Prácticas de Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal. UCLA, Agronomía. pdf. ResearchGate. DOI: 10.13140/RG.2.1.1665.2007. 105 pp.

NRC National Research Council. (2007). Nutrient Requirements of small ruminants. National Academy Press. 363 pp.

NRC National Research Council. (2016). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press. 363 pp.

Olivares, F., Avilés, F., Albarrán, B., Rojas, S. y Castelán, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en Ranchos Ganaderos del Sur del estado de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. No. 14. 10 pp.

Olmedo, A., Rojo, R., Arece, J., Mohamed, A. Z., Morales, E., Albarrán, B., Lee, A. H., y Vázquez, J. F. (2015) Extracto de *Lysiloma acapulcensis* en la digestibilidad y fermentación ruminal de una dieta para ovinos. Ecosistemas y recursos naturales. Vol. 2. Núm. (5):173- 182 pp.

Owens, F. & Zinn, R. (1993). Fermentación ruminal. Church D. C. (1993). El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 15-46 pp.

Palma G, J. M. & González C. (2018). Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima. Avenida Universidad 333, Colima, Colima, México. Pdf. Fecha de acceso; 10/09/2023. Disponible en: http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Recursos-arboreos-y-arbustivos-tropicales_462.pdf

Palma, (2018). *Caesalpinia coriaria*. Jacq Willd. Palma G, J. M. & González C. (2018). Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima. Avenida Universidad 333, Colima, Colima, México. Pdf. Fecha de acceso; 10/09/2023. Disponible en: http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Recursos-arboreos-y-arbustivos-tropicales_462.pdf

Palma, J. M. & Román L. (nd). Frutos de especies arbóreas de leguminosas y no leguminosas para la alimentación de rumiantes. Fecha de acceso: 29 de mayo del 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/Y4435S/y4435s0n.htm>

Palma, J. M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. Archivos de Producción Animal. Vol. 14. Núm. 3., pp. 95-104. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?la06018>

Ramírez, L., Ku Vera, J. C., Solorio, F. J., Sandoval, S. A. y Ayala, A. J. (2012). Uso de especies leñosas e los sistemas de producción animal. Avances de investigación de producción animal en Iberoamérica. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, Méx. 447-462 pp.

Reynoso, V. 2016. Leguminosas, regeneración para el suelo. Vía orgánica. Fecha de acceso: 22 de mayo del 2019. Disponible en: <https://viaorganica.org/15451-2/>

Rodríguez, L. (2016). Degradabilidad in situ de un suplemento activador del rumen (SAR) con la incorporación de harina de frutos de *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. Tesis de licenciatura. FMVZ – Universidad de Colima. 48 pp.

Rojo, R., Vázquez, J. F., Salem, F. Z., Mendoza, G. D., Arece, J., Dorantes, E. J. y Olmedo A. (2014). Importancia de la suplementación mineral a rumiantes alimentados a base de forrajes. Metodologías y aplicaciones para la producción ganadera del trópico seco en el sur del estado de México. 1ra edición. Gernika, S. A. México. 245-280 pp.

Román, L. M., Palma, J. M., Zorrilla, J., Mora, A., y Gallegos, A., (2008). Degradabilidad in situ de la materia seca de la harina del fruto de guacima, *Guazuma ulmifolia*, con dietas de frutos de especies arbóreas. *Zootecnia Tropical*, Vol. 26 No (3): 227-230. 2008

Román, M. L. (2001). Evaluación de cinco especies arbóreas nativas como fuente de alimento para rumiantes en el trópico seco. Tesis doctoral. Ciencias pecuarias. Universidad de Colima, Colima.

Román, M. L., Mora, A., Carvajal, S., y Ochoa, (2007). Especies forestales con diversidad de usos en un bosque tropical caducifolio de la comunidad indígena de Tomatlán, Jalisco, México.

Rosero, R. y Posada, S. L. (2007). Modelación de la cinética de degradación de los alimentos para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Número 20. Pp.174-182

Rubio, L.A. y Molina, E. (2016). Las leguminosas en alimentación animal. *Arbor*, 192 (779): a315. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3005>

RumiNews (2023). Anatomía del aparato digestivo de los rumiantes. *Revista RumiNews*, rumiantes.com. Fecha de acceso 28/19/2023. disponible en: <https://rumiantes.com/anatomia-del-aparato-digestivo-de-los-rumiantes/>

Sánchez L, F. I.; Galván A, D., y Pitre R, L. (2022). Análisis fitoquímico de extractos de frutos y hojas de dividivi (*Caesalpinia CORIARIA*) (Jacq.) Willd. *Ciencia e Ingeniería*. Universidad de La Guajira, Colombia. Vol. 9, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7449405>. URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/690/6903714002/>

Sánchez, (2006). Leguminosas como potencial forrajero en alimentación bovina. *Leguminosas*. Agricultura. Engormix. En línea. Fecha de acceso: 13/08/2022. Disponible en: https://www.engormix.com/agricultura/leguminosas/leguminosas-como-potencial-forrajero_a26636/

Sandoval, C. A., Zapata, C., Cetina, R., Capetillo, C. y Ayala, A. J. (2006). Composición química y nutricional de árboles forrajeros. 1ra publicación. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. 54 pp.

Universidad EIA, (2014). Fabáceas; *Caesalpinia coriaria*. Catalogo Virtual de Flora del Valle de Aburrá. Fecha de acceso: 10 de abril de 2019. Disponible en: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/304>

Universidad Politécnica de Valencia (2003). Parte IV: Tema 20 (5b). Familia de Leguminosas. Fecha de acceso 29 de mayo de 2019. Disponible en: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas%20angiospermas/R%C3%B3sidas/Leguminosas/Leguminosas.htm>

Vega García Jesús Israel, (2016). Determinación de la digestibilidad *in vitro* de pajas mediante dos métodos: incubación con líquido ruminal y digestibilidad enzimática. Tesis Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. 54 pp.

Villalobos, C., González, E. y Ortega, A. J. (2000). Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. Tec Pecu Méx. Vol. 38. Núm. (2) 119-134 pp.

Yokoyama M. T. & Johnson K. A. (1993). Microbiología del rumen e intestino. Church D. C. (1993). El rumiante, Fisiología digestiva y Nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 137- 159 pp.

ANEXOS

LISTADO DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
C.c	<i>Caesalpinia coriaria</i>
AQP	Análisis Químico Proximal
cm	Centímetro
cm ²	Centímetros cuadrados
CP	Código postal
DFDA	Degradabilidad de Fibra Detergente Acida
DFDN	Degradabilidad de Fibra Detergente Neutra
DMO	Degradabilidad de materia orgánica
DMS	Degradabilidad de materia seca
EE	Extracto Etéreo
ELN	Extracto Libre de Nitrógeno
FDA	Fibra Detergente Acida
FDN	Fibra Detergente Neutra
H	Humedad
hrs	Horas
Kg	Kilogramo
Km	Kilometro
m	Metro
mm	Milímetros
mns	Metros sobre el nivel del mar
MO	Materia Orgánica
BS	Base seca
MS	Materia Seca
N	Nitrógeno
P. ej	Por ejemplo
PC	Proteína Cruda
Sp	Especie
Spp	Especies

RESULTADOS NLINMODELOM.SAS

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D1 REP=1

Búsqueda de cuadrícula			
A	B	C	Suma de cuadrados
10.0000	200.0	0.0300	28437.6
10.0000	201.0	0.0300	28946.5
11.0000	200.0	0.0300	29153.4
10.0000	202.0	0.0300	29460.1
11.0000	201.0	0.0300	29669.9
12.0000	200.0	0.0300	29887.1
10.0000	203.0	0.0300	29978.4
11.0000	202.0	0.0300	30191.1
12.0000	201.0	0.0300	30411.3
10.0000	204.0	0.0300	30501.4

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D1 REP=1

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	28437.6
1	30.8076	58.8332	0.0300	52.1747
2	30.8072	58.8321	0.0301	52.1713
3	30.8063	58.8294	0.0301	52.1713
4	30.8062	58.8291	0.0301	52.1713
5	30.8062	58.8291	0.0301	52.1713

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	5
R	4.099E-7
PPC(C)	2.286E-7
RPC(C)	1.976E-6
Objeto	1.4E-11
Objetivo	52.17133
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2524.2	1262.1	145.15	<.0001
Error	6	52.1713	8.6952		
Total corregido	8	2576.4			

Parámetro	Estimación	aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	30.8062	2.2655	25.2626	36.3497
B	58.8291	5.4319	45.5378	72.1204
C	0.0301	0.00684	0.0133	0.0468

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.000000	0.0691685	-0.6244181
B	0.0691685	1.000000	-0.7719745
C	-0.6244181	-0.7719745	1.000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D1 REP=2

Búsqueda de cuadrícula				
	A	B	C	Suma de cuadrados
	10.0000	200.0	0.0300	28958.2
	10.0000	201.0	0.0300	29475.7
	11.0000	200.0	0.0300	29710.4
	10.0000	202.0	0.0300	29997.8
	11.0000	201.0	0.0300	30235.5
	12.0000	200.0	0.0300	30480.6
	10.0000	203.0	0.0300	30524.7
	11.0000	202.0	0.0300	30765.3
	12.0000	201.0	0.0300	31013.3
	10.0000	204.0	0.0300	31056.3

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D1 REP=2

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	28958.2
1	29.8650	72.8345	0.0256	229.3
2	29.6943	76.1681	0.0175	47.2183
3	29.4963	80.1205	0.0176	28.4195
4	29.4976	80.1350	0.0176	28.4192
5	29.4975	80.1336	0.0176	28.4192
6	29.4975	80.1336	0.0176	28.4192

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	6
R	1.795E-7
PPC(C)	1.038E-7
RPC(C)	1.87E-6
Objeto	9.88E-12
Objetivo	28.41918
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2988.5	1494.2	315.47	<.0001
Error	6	28.4192	4.7365		
Total corregido	8	3016.9			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	29.4975	1.5743	25.6453	33.3496
B	80.1336	10.3586	54.7871	105.5
C	0.0176	0.00415	0.00742	0.0277

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.4181595	-0.6389225
B	0.4181595	1.0000000	-0.9513936
C	-0.6389225	-0.9513936	1.0000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D2 REP=1

Búsqueda de cuadrícula				
	A	B	C	Suma de cuadrados
10.0000	200.0	0.0300		28936.3
10.0000	201.0	0.0300		29452.4
11.0000	200.0	0.0300		29680.5
10.0000	202.0	0.0300		29973.3
11.0000	201.0	0.0300		30204.3
12.0000	200.0	0.0300		30442.6
10.0000	203.0	0.0300		30498.9
11.0000	202.0	0.0300		30732.8
12.0000	201.0	0.0300		30974.1
10.0000	204.0	0.0300		31029.2

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D2 REP=1

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	28936.3
1	30.3739	69.7043	0.0264	200.6
2	30.1388	71.3722	0.0199	64.1408
3	29.8097	71.8303	0.0208	58.6796
4	29.8490	72.1838	0.0206	58.6702
5	29.8406	72.1290	0.0207	58.6699
6	29.8421	72.1397	0.0207	58.6699
7	29.8418	72.1378	0.0207	58.6699
8	29.8419	72.1381	0.0207	58.6699
9	29.8419	72.1381	0.0207	58.6699

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	9
R	4.72E-7
PPC(C)	3.512E-7
RPC(C)	1.928E-6
Objeto	5.5E-12
Objetivo	58.66993
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2837.9	1419.0	145.11	<.0001
Error	6	58.6699	9.7783		
Total corregido	8	2896.6			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	29.8419	2.2976	24.2199	35.4638
B	72.1381	10.9558	45.3302	98.9459
C	0.0207	0.00628	0.00530	0.0360

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.3445019	-0.6353930
B	0.3445019	1.0000000	-0.9222877
C	-0.6353930	-0.9222877	1.0000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D2 REP=2

Búsqueda de cuadrícula				
	A	B	C	Suma de cuadrados
10.0000	200.0	0.0300		30695.0
10.0000	201.0	0.0300		31226.3
11.0000	200.0	0.0300		31458.0
10.0000	202.0	0.0300		31762.2
11.0000	201.0	0.0300		31996.9
12.0000	200.0	0.0300		32238.9
10.0000	203.0	0.0300		32302.9
11.0000	202.0	0.0300		32540.5
12.0000	201.0	0.0300		32785.5
10.0000	204.0	0.0300		32848.3

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D2 REP=2

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	30695.0
1	31.6156	65.4703	0.0261	217.9
2	31.5374	68.3405	0.0174	52.7955
3	31.4887	73.9080	0.0167	34.1789
4	31.4932	74.0175	0.0168	34.1440
5	31.4931	74.0161	0.0168	34.1440
6	31.4931	74.0161	0.0168	34.1440

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	6
R	5.496E-8
PPC(C)	4.03E-8
RPC(C)	1.164E-6
Objeto	2.61E-12
Objetivo	34.144
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2424.7	1212.4	213.04	<.0001
Error	6	34,1440	5.6907		
Total corregido	8	2458.9			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	31.4931	1.7183	27.2885	35.6977
B	74.0161	12.4441	43.5665	104.5
C	0.0168	0.00502	0.00449	0.0290

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.4359200	-0.6398515
B	0.4359200	1.0000000	-0.9575863
C	-0.6398515	-0.9575863	1.0000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D3 REP=1

Búsqueda de cuadrícula				
A	B	C	Suma de cuadrados	
10.0000	200.0	0.0300	33794.0	
10.0000	201.0	0.0300	34352.2	
11.0000	200.0	0.0300	34605.7	
10.0000	202.0	0.0300	34915.2	
11.0000	201.0	0.0300	35171.6	
12.0000	200.0	0.0300	35435.5	
10.0000	203.0	0.0300	35482.9	
11.0000	202.0	0.0300	35742.3	
12.0000	201.0	0.0300	36009.1	
10.0000	204.0	0.0300	36055.3	

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D3 REP=1

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	33794.0
1	32.9061	67.7133	0.0230	583.0
2	32.4636	77.6073	0.00803	498.1
3	32.0720	123.0	0.00661	59.1271
4	32.3130	145.4	0.00565	39.7433
5	32.4389	161.6	0.00505	36.8895
6	32.5220	174.3	0.00465	36.2098
7	32.5799	184.4	0.00437	35.9858
8	32.6208	192.2	0.00417	35.9030
9	32.6492	198.0	0.00403	35.8723
10	32.6852	205.6	0.00386	35.8713
11	32.6933	207.7	0.00382	35.8571
12	32.6941	207.9	0.00382	35.8570
13	32.6942	208.0	0.00381	35.8570
14	32.6942	208.0	0.00381	35.8570

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	14
Subiteraciones	13
Subiteraciones promedio	0.928571
R	1.893E-7
PPC(C)	6.141E-7
RPC(C)	7.287E-6
Objeto	5.47E-12
Objetivo	35.85705
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2168.8	1084.4	181.45	<.0001
Error	6	35.8570	5.9762		
Total corregido	8	2204.6			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	32.6942	1.6416	28.6772	36.7111
B	208.0	241.1	-381.9	797.8
C	0.00381	0.00505	-0.00855	0.0162

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.6275601	-0.6540810
B	0.6275601	1.0000000	-0.9989739
C	-0.6540810	-0.9989739	1.0000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D3 REP=2

Búsqueda de cuadrícula			
A	B	C	Suma de cuadrados
10.0000	200.0	0.0300	29637.7
10.0000	201.0	0.0300	30161.9
11.0000	200.0	0.0300	30407.8
10.0000	202.0	0.0300	30691.0
11.0000	201.0	0.0300	30939.8
12.0000	200.0	0.0300	31196.0
10.0000	203.0	0.0300	31224.7
11.0000	202.0	0.0300	31476.4
12.0000	201.0	0.0300	31735.6
10.0000	204.0	0.0300	31763.1

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D3 REP=2

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	29637.7
1	28.4274	72.7602	0.0259	244.9

2	28.1824	75.1968	0.0187	81.2395
3	27.8614	76.5506	0.0195	71.3167
4	27.8888	76.8357	0.0194	71.3119
5	27.8836	76.7969	0.0194	71.3117
6	27.8844	76.8031	0.0194	71.3117
7	27.8842	76.8022	0.0194	71.3117
8	27.8843	76.8023	0.0194	71.3117

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	8
R	6.423E-7
PPC(C)	5.373E-7
RPC(C)	3.617E-6
Objeto	1.59E-11
Objetivo	71.31174
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	3030.7	1515.4	127.50	<.0001
Error	6	71.3117	11.8853		
Total corregido	8	3102.0			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	27.8843	2.5170	21.7253	34.0432
B	76.8023	13.5966	43.5326	110.1
C	0.0194	0.00662	0.00319	0.0356

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.3759019	-0.6368420
B	0.3759019	1.0000000	-0.9353466
C	-0.6368420	-0.9353466	1.0000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D4 REP=1

Búsqueda de cuadrícula				
	A	B	C	Suma de cuadrados
	10.0000	200.0	0.0300	30406.0
	10.0000	201.0	0.0300	30936.6
	11.0000	200.0	0.0300	31180.0
	10.0000	202.0	0.0300	31471.8
	11.0000	201.0	0.0300	31718.2
	12.0000	200.0	0.0300	31971.9
	10.0000	203.0	0.0300	32011.8
	11.0000	202.0	0.0300	32261.1
	12.0000	201.0	0.0300	32517.8
	10.0000	204.0	0.0300	32556.5

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

Método: Marquardt

TREAT=D4 REP=1

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	30406.0
1	29.1287	68.2606	0.0265	186.1
2	29.0994	70.5853	0.0192	54.4131
3	29.1067	74.5266	0.0185	45.3253
4	29.1129	74.6290	0.0185	45.3092
5	29.1129	74.6293	0.0185	45.3092

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	5
R	4.288E-7
PPC(C)	3.126E-7
RPC(C)	7.066E-6
Objeto	1.02E-10
Objetivo	45.30921
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2736.7	1368.4	181.20	<.0001
Error	6	45.3092	7.5515		
Total corregido	8	2782.0			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	29.1129	1.9976	24.2250	34.0008
B	74.6293	11.8120	45.7265	103.5
C	0.0185	0.00552	0.00504	0.0320

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.000000	0.3963045	-0.6378256
B	0.3963045	1.000000	-0.9433196
C	-0.6378256	-0.9433196	1.000000

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG

TREAT=D4 REP=2

Búsqueda de cuadrícula				
	A	B	C	Suma de cuadrados
10.0000	200.0	0.0300		31360.3
10.0000	201.0	0.0300		31896.3
11.0000	200.0	0.0300		32126.1
10.0000	202.0	0.0300		32437.1
11.0000	201.0	0.0300		32669.8
12.0000	200.0	0.0300		32909.9
10.0000	203.0	0.0300		32982.5
11.0000	202.0	0.0300		33218.1
12.0000	201.0	0.0300		33461.2
10.0000	204.0	0.0300		33532.6

Procedimiento NLIN
Variable dependiente DEG
Método: Marquardt

TREAT=D4 REP=2

Fase iterativa				
Iter	A	B	C	Suma de cuadrados
0	10.0000	200.0	0.0300	31360.3
1	34.0882	67.7604	0.0238	441.4
2	33.8268	75.5968	0.0104	252.3
3	33.5221	99.8300	0.00965	23.7400
4	33.5187	99.9476	0.00983	22.4083
5	33.5194	99.9941	0.00983	22.4083
6	33.5193	99.9934	0.00983	22.4083

NOTE: Criterio de convergencia cumplido.

Resumen de la estimación	
Método	Marquardt
Iteraciones	6
R	1.765E-7
PPC(C)	1.763E-7
RPC(C)	0.00001
Objeto	1.17E-10
Objetivo	22.40832
Observaciones leídas	9
Observaciones usadas	9
Observaciones ausentes	0

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Aprox Pr > F
Modelo	2	2272.9	1136.4	304.29	<.0001
Error	6	22.4083	3.7347		
Total corregido	8	2295.3			

Parámetro	Estimación	Error Std aprox	Límites de confianza 95% aproximados	
A	33.5193	1.3416	30.2365	36.8022
B	99.9934	28.8948	29.2902	170.7
C	0.00983	0.00401	0.000016	0.0196

Matriz de correlación aproximada			
	A	B	C
A	1.0000000	0.5582509	-0.6476460
B	0.5582509	1.0000000	-0.9901120
C	-0.6476460	-0.9901120	1.0000000

TREAT=D1 REP=1

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
1	0	29.6	30.8062	-1.20616	30.8062	58.8291	0.030059
2	4	37.8	37.4708	0.32922	30.8062	58.8291	0.030059
3	8	43.0	43.3604	-0.38037	30.8062	58.8291	0.030059
4	12	48.0	48.6205	-0.62048	30.8062	58.8291	0.030059
5	16	57.8	53.2670	4.53305	30.8062	58.8291	0.030059
6	24	61.7	61.0404	0.65964	30.8062	58.8291	0.030059
7	36	64.5	69.6993	-5.19932	30.8062	58.8291	0.030059
8	48	76.3	75.7362	0.56379	30.8062	58.8291	0.030059
9	72	84.2	82.8794	1.32063	30.8062	58.8291	0.030059

TREAT=D1 REP=2

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
10	0	28.3	29.4975	-1.19747	29.4975	80.1336	0.017581
11	4	37.7	34.9394	2.76064	29.4975	80.1336	0.017581
12	8	40.3	40.0117	0.28832	29.4975	80.1336	0.017581
13	12	43.8	44.7395	-0.93954	29.4975	80.1336	0.017581
14	16	48.2	49.1463	-0.94634	29.4975	80.1336	0.017581
15	24	56.0	57.0824	-1.08245	29.4975	80.1336	0.017581
16	36	65.9	67.0776	-1.17763	29.4975	80.1336	0.017581
17	48	78.8	75.1717	3.62835	29.4975	80.1336	0.017581
18	72	85.7	87.0339	-1.33388	29.4975	80.1336	0.017581

TREAT=D2 REP=1

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
19	0	31.7	29.8419	1.85812	29.8419	72.1381	0.020660
20	4	37.0	35.5636	1.43641	29.8419	72.1381	0.020660
21	8	40.8	40.8315	-0.03147	29.8419	72.1381	0.020660
22	12	41.4	45.6815	-4.28153	29.8419	72.1381	0.020660
23	16	48.4	50.1469	-1.74690	29.8419	72.1381	0.020660
24	24	57.0	58.0432	-1.04321	29.8419	72.1381	0.020660
25	36	70.2	67.6906	2.50942	29.8419	72.1381	0.020660
26	48	79.3	75.2196	4.08036	29.8419	72.1381	0.020660
27	72	82.9	85.6812	-2.78119	29.8419	72.1381	0.020660

TREAT=D2 REP=2

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
28	0	32.1	31.4931	0.60893	31.4931	74.0161	0.016767
29	4	36.7	36.2944	0.40563	31.4931	74.0161	0.016767
30	8	38.5	40.7842	-2.28422	31.4931	74.0161	0.016767
31	12	42.4	44.9828	-2.58282	31.4931	74.0161	0.016767
32	16	52.7	48.9091	-3.79094	31.4931	74.0161	0.016767
33	24	57.6	56.0140	1.56599	31.4931	74.0161	0.016767
34	36	64.7	65.0347	-0.33471	31.4931	74.0161	0.016767
35	48	70.4	72.4114	-2.01135	31.4931	74.0161	0.016767
36	72	84.2	83.3764	0.82362	31.4931	74.0161	0.016767

TREAT=D3 REP=1

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
37	0	31.3	32.6942	-1.39417	32.6942	207.966	.003814951
38	4	36.7	35.8436	0.85639	32.6942	207.966	.003814951
39	8	37.8	38.9453	-1.14535	32.6942	207.966	.003814951
40	12	41.9	42.0001	-0.10011	32.6942	207.966	.003814951
41	16	46.4	45.0086	1.39138	32.6942	207.966	.003814951
42	24	54.9	50.8896	4.01036	32.6942	207.966	.003814951
43	36	55.9	59.3814	-3.48138	32.6942	207.966	.003814951
44	48	66.5	67.4931	-0.99314	32.6942	207.966	.003814951
45	72	83.5	82.6440	0.85603	32.6942	207.966	.003814951

TREAT=D3 REP=2

Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
46	0	27.8	27.8843	-0.08426	27.8843	76.8023	0.019399
47	4	37.1	33.6184	3.48157	27.8843	76.8023	0.019399
48	8	37.6	38.9245	-1.32447	27.8843	76.8023	0.019399
49	12	43.4	43.8344	-0.43436	27.8843	76.8023	0.019399
50	16	46.2	48.3777	-2.17767	27.8843	76.8023	0.019399
51	24	52.7	56.4720	-3.77198	27.8843	76.8023	0.019399
52	36	68.4	66.4651	1.91494	27.8843	76.8023	0.019399
53	48	79.6	74.4186	5.18135	27.8843	76.8023	0.019399
54	72	82.9	85.6651	-2.78512	27.8843	76.8023	0.019399

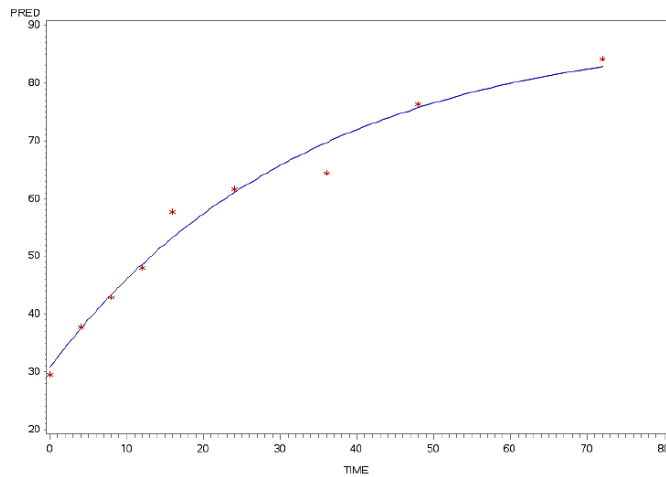
TREAT=D4 REP=1

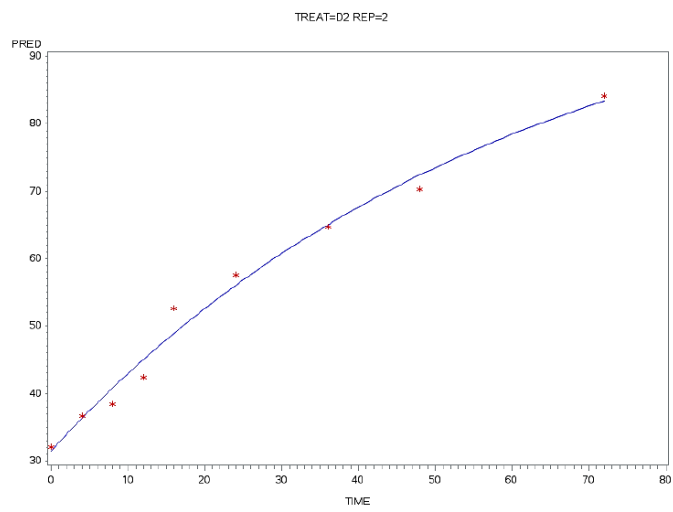
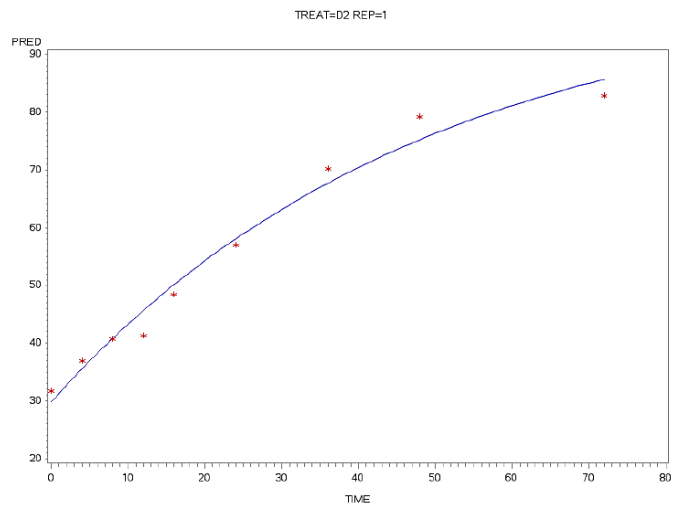
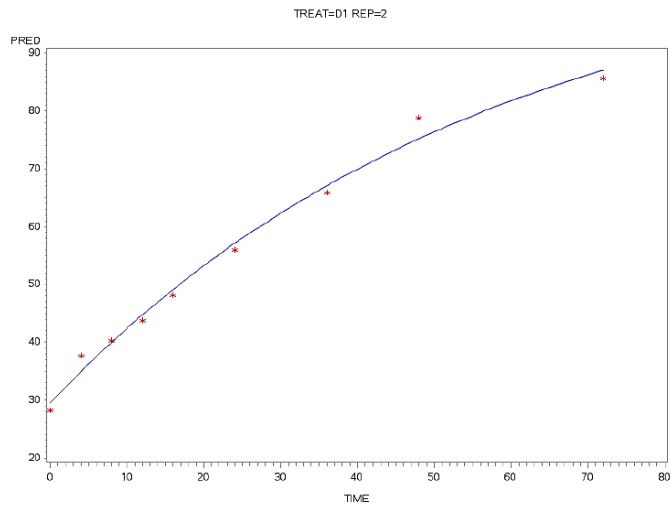
Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
55	0	25.4	29.1129	-3.71293	29.1129	74.6293	0.018541
56	4	37.4	34.4474	2.95259	29.1129	74.6293	0.018541
57	8	42.1	39.4006	2.69942	29.1129	74.6293	0.018541
58	12	45.7	43.9997	1.70031	29.1129	74.6293	0.018541
59	16	45.7	48.2701	-2.57007	29.1129	74.6293	0.018541
60	24	55.1	55.9169	-0.81690	29.1129	74.6293	0.018541
61	36	63.7	65.4569	-1.75691	29.1129	74.6293	0.018541
62	48	74.6	73.0939	1.50609	29.1129	74.6293	0.018541
63	72	84.1	84.1016	-0.00160	29.1129	74.6293	0.018541

TREAT=D4 REP=2

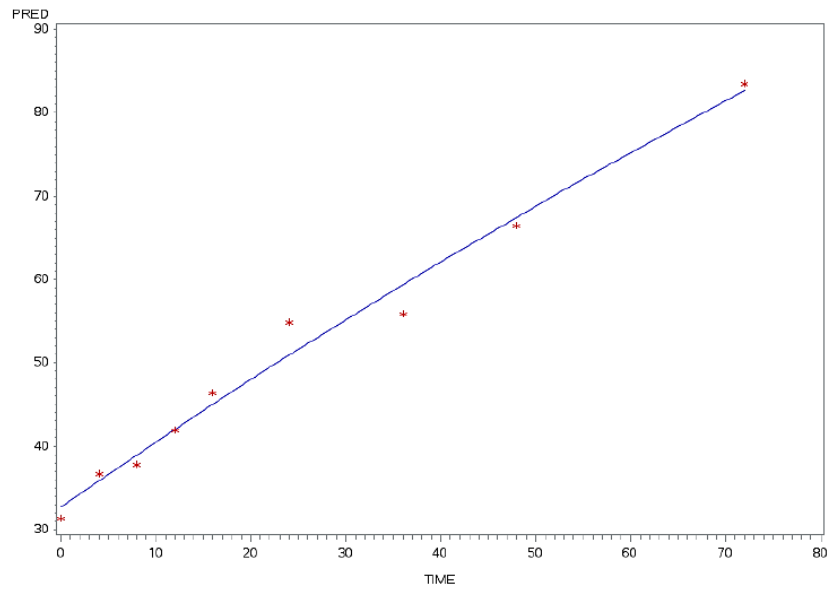
Obs	TIME	DEG	PRED	RESID	A	B	C
64	0	34.4	33.5193	0.88066	33.5193	99.9934	.009828560
65	4	37.3	37.3742	-0.07423	33.5193	99.9934	.009828560
66	8	39.0	41.0805	-2.08051	33.5193	99.9934	.009828560
67	12	45.5	44.6439	0.85609	33.5193	99.9934	.009828560
68	16	47.6	48.0699	-0.46993	33.5193	99.9934	.009828560
69	24	56.8	54.5308	2.26916	33.5193	99.9934	.009828560
70	36	60.5	63.3178	-2.81781	33.5193	99.9934	.009828560
71	48	72.9	71.1272	1.77279	33.5193	99.9934	.009828560
72	72	83.9	84.2362	-0.33621	33.5193	99.9934	.009828560

TREAT=D1 REP=1

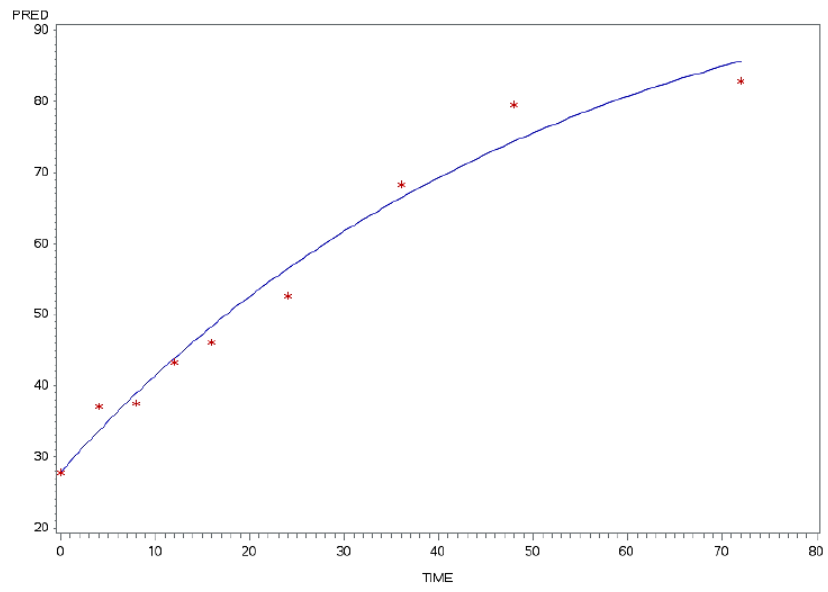




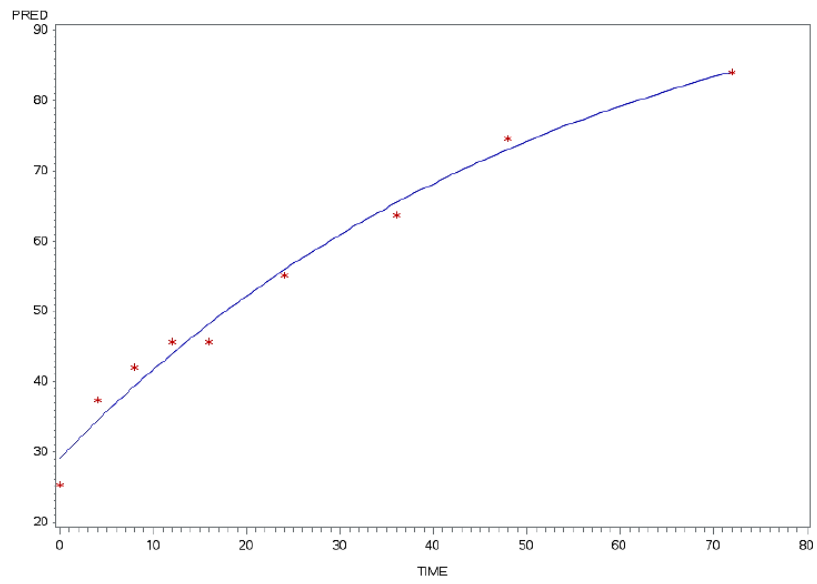
TREAT=D3 REP=1



TREAT=D3 REP=2



TREAT=D4 REP=1



TREAT=D4 REP=2

