



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGROPECUARÍA**

“CINÉTICA DE DEGRADACIÓN Y DIGESTIBILIDAD DEL FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea maíz*) EN CABRAS CRIOLLAS EN SANTA
ELENA, ECUADOR”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

CARLOS CESAR MIRABÁ ROSALES

LA LIBERTAD – ECUADOR

2015

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGROPECUARÍA**

**“CINÉTICA DE DEGRADACIÓN Y DIGESTIBILIDAD DEL
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea maíz*) EN
CABRAS CRIOLLAS EN SANTA ELENA, ECUADOR”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

CARLOS CESAR MIRABÁ ROSALES

LA LIBERTAD – ECUADOR

2015

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Antonio Mora Alcívar, M.Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Lenni Ramírez Flores, M.Sc.
DIRECTORA (E) ESCUELA

Ing. Julio Villacrés Matías, M.Sc.
PROFESOR DEL ÁREA

Ing. Néstor Acosta Lozano, MSc.
PROFESOR TUTOR

Abg. Joe Espinoza Ayala.
SECRETARIO GENERAL

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la sabiduría, fortaleza e inteligencia para poder culminar con éxito mi carrera.

A mis queridos padres: Cesar Mirabá Pozo y María Rosales Guale; a mis hermanos Maribel, Henry y Eliana por el amor, la comprensión y el cariño que recibí de cada uno de ellos durante la realización de mi trabajo de titulación.

Carlos Cesar Mirabá Rosales

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por haberme colmado de fé y esperanza en la ejecución de este proyecto.

A las autoridades y personal Académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de mi formación profesional.

Al Ing. Néstor Acosta Lozano, M.Sc. por su dedicación, sabiduría y paciencia en la coordinación y dirección del trabajo de titulación.

Al Ing. Antonio Mora Alcívar, M.Sc. Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Al Ing. Julio Villacrés Matías, M.Sc. Docente de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

A mis padres, tíos, primos, que contribuyeron para que este proyecto se haga realidad.

A la Srta. Daniela Orrala, Rosalino Pozo, Yuinson Suárez y Mvz. Raciél Lima Orozco Dr.C. Que me ayudaron para que este trabajo de graduación se haga realidad.

Carlos Cesar Mirabá Rosales

Por ser una investigación emprendida por el Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Agrarias, el presente trabajo es de responsabilidad del autor y propiedad intelectual del CIAP y por ende de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Fisiología digestiva de los rumiantes	4
2.2 Digestibilidad	5
2.3 Técnica <i>in vivo</i>	5
2.4 Técnica <i>in situ</i>	6
2.5 Técnica <i>in vitro</i>	7
2.6 Cinética de degradación ruminal	8
2.7 Fermentación ruminal	9
2.8 Digestión de proteínas	10
2.9 Digestión de carbohidratos	11
2.10 Fístulas en rumiantes	11
2.11 Procedimiento quirúrgico en fistulación	12
2.12 Técnicas de digestibilidad de la materia seca	13
2.13 Forraje verde hidropónico (FVH)	14
2.13.1 Definición	14
2.14 Proceso de producción de forraje hidropónico	15
2.14.1 Selección de semilla	15
2.14.2 Lavado y desinfección de la semilla	15
2.14.3 Germinación	16
2.14.4 Riego	16
2.14.5 Cosecha	17
2.15 Métodos de producción de FVH	17

2.16 Alimentación de diferentes tipos de animales	
con forraje verde hidropónico de maíz (FVHM)	18
2.16.1 Alimentación de ovinos	18
2.16.2 Alimentación de toretes	18
2.16.3 Alimentación de vacas lecheras	19
2.16.4 Alimentación en cuyes y conejos	20
2.16.5 Alimentación en cabras	20
2.16.1.1 Consumo voluntario	21
2.17. Bromatología	22
2.17.1 Determinación de la proteína cruda (PC)	22
2.17.2 Determinación de la fibra cruda (FC)	23
2.17.3 Determinación del extracto etéreo o grasa cruda (EE)	23
2.17.4 Determinación de la materia seca (MS)	24
2.17.5 Determinación de la fibra detergente ácida (FDA)	25
2.17.6 Determinación de fibra detergente neutra (FDN)	25
2.17.7 Determinación de ceniza	26
2.17.8 Determinación de extracto libre de nitrógeno (ELN)	26
2.17.9 Determinación de la materia orgánica (MO)	27
2.18 Digestibilidad del Forraje Verde Hidropónico	27
2.19 Soluciones nutritivas	29
2.20 Fórmulas para estimar digestibilidad y degradabilidad	31
2.20.1 Digestibilidad en las heces (%)	31
2.20.2 Porcentaje de materia seca (%)	32
2.20.3 Porcentaje de materia orgánica (%)	32
2.20.4 Degradabilidad efectiva de la proteína	32
2.20.5 Degradabilidad efectiva de la proteína, materia seca y orgánica	33
2.21 Determinación de la digestibilidad de los alimentos	33
2.22 Método de colección total de heces	34
2.23 Requerimiento nutricional de mantenimiento en cabras	34

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del lugar del ensayo	35
--	----

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Resultados y discusión del experimento 1	45
4.1.1 Cinética de degradación de la materia seca	45
4.1.2 Cinética de degradación de la materia orgánica	47
4.1.3 Cinética de degradación de la proteína cruda	49
4.2 Resultados y discusión del experimento 2	51
4.2.1 Digestibilidad verdadera de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones	54
Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO	

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva de Hoagland	29
Cuadro 2. Fórmula de solución hidropónica La Molina	30
Cuadro 3. Fórmula de solución hidropónica de la FAO	31
Cuadro 4. Requerimiento nutricional de mantenimiento en cabras	34
Cuadro 5. Características agronómicas del maíz AGRI 104	37
Cuadro 6. Análisis de la varianza del experimento 1	39
Cuadro 7. Dietas experimentales	39
Cuadro 8. Nutrientes calculados de dietas experimentales con FVHM	40
Cuadro 9. Análisis de la varianza del experimento 2	43
Cuadro 10. Cinética de degradación de la MS del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas	45
Cuadro 11. Cinética de degradación de la MO del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas	47
Cuadro 12. Cinética de degradación de la PC del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas	49
Cuadro 13. Digestibilidad verdadera de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda del FVHM con diferentes soluciones.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cinética de degradación de la MS del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.	46
Figura 2. Cinética de degradación de la MO del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.	48
Figura 3. Cinética de degradación de la PC del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

- Cuadro 1A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución FAO
- Cuadro 2A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución Hoagland
- Cuadro 3A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución La Molina
- Cuadro 4A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución FAO
- Cuadro 5A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución Hoagland
- Cuadro 6A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución La Molina
- Cuadro 7A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución FAO
- Cuadro 8A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución Hoagland
- Cuadro 9A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución La Molina
- Cuadro 10A. Digestibilidad de la MS del FVHM con solución FAO, Hoagland y La Molina
- Cuadro 11A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución FAO
- Cuadro 12A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución Hoagland
- Cuadro 13A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución La Molina
- Cuadro 14A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución la FAO
- Cuadro 15A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución Hoagland.
- Cuadro 16A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución La Molina
- Cuadro 17A. Cálculo de dietas experimentales
- Cuadro 18A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 0
- Cuadro 19A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 3
- Cuadro 20A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 6
- Cuadro 21A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 9
- Cuadro 22A. Análisis de la varianza de la degradación de la MS en tiempo 12
- Cuadro 23A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 24
- Cuadro 24A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 48
- Cuadro 25A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 72
- Cuadro 26A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 0
- Cuadro 27A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 3
- Cuadro 28A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 6
- Cuadro 29A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 9

Cuadro 30A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 12

Cuadro 31A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 24

Cuadro 32A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 48

Cuadro 33A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 72

Cuadro 34A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 0

Cuadro 35A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 3

Cuadro 36A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 6

Cuadro 37A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 9

Cuadro 38A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 12

Cuadro 39A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 24

Cuadro 40A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 48

Cuadro 41A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 72

Cuadro 42A. Análisis varianza de la digestibilidad verdadera de la MS con
diferentes soluciones

Cuadro 43A. Análisis de varianza de la digestibilidad verdadera de la MO con
diferentes soluciones

Cuadro 44A. Análisis de varianza de la digestibilidad verdadera de la PC con
diferentes soluciones

Figura 1A. Materiales para fistulación

Figura 2A. Procedimiento quirúrgico

Figura 3A. Sutura

Figura 4A. Colocación de la fistula

Figura 5A. Cabra fistulada

Figura 6A. Siembra de forraje

Figura 7A. Etapa de pre-germinación

Figura 8A. Etapa de germinación

Figura 9A. FVHM a los 4 días

Figura 10A. FVHM a los 6 días

Figura 11A. Forraje a los 8 días de edad

Figura 12A. FVHM a los 10 días

Figura 13A. Forraje a los 12 días de edad

Figura 14A. Riego del Forraje

Figura 15A. Cosecha del FVHM

Figura 16A. Adaptación de los animales al FVHM (técnica *in situ*)

Figura 17A. Preparación de las bolsas de nylon con 5 gr de alimento

Figura 18A. Peso de las muestras

Figura 19A. Amarre de las bolsas de nylon

Figura 20A. Presentación de las muestras antes de ser introducidas al rumen

Figura 21A. Amarre de las bolsas en la cadena

Figura 22A. Introducción de las bolsas en el rumen

Figura 23A. Extracción de las bolsas del rumen

Figura 24A. Lavado de las muestras

Figura 25A. Adaptación de los animales en las jaulas metabólicas

Figura 26A. Adaptación de los animales al FVHM (técnica *in vivo*)

Figura 27A. Recolección de las heces (técnica *in vivo*)

Figura 28A. Muestras de las heces recolectadas

Figura 29A. Colocación de las muestras en la estufa

Figura 30A. Extracción de las muestras *in situ* e *in vivo* en la estufa

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años en la provincia de Santa Elena la producción de cabras ha tenido relevante importancia en lo económico y social. Esta zona durante la época seca presenta limitantes de oferta forrajera debido a la presencia de suelos áridos y a la variabilidad de las estaciones climáticas, que causan una inestabilidad en la producción de pastos, lo que ocasiona un problema para la ganadería de la provincia obteniendo animales de bajo peso corporal, evidenciándose problemas reproductivos.

Una de las prácticas comúnmente aplicadas es el pastoreo extensivo de las cabras, sin embargo, esto implica disminución de peso corporal, baja capacidad reproductiva, debido a que el animal busca su propio alimento, el cual pierde energía y consume más alimento para cubrir sus requerimientos nutricionales. Basado en este hecho, el forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) puede considerarse como una alternativa para suplementar a los animales y así cumplir con las demandas de nutrientes para satisfacer las necesidades de mantenimiento y de producción.

Además el forraje verde hidropónico de maíz representa una alternativa para la alimentación de otras especies animales como corderos, terneros, vacas, caballos, conejos, aves, etc. Este alimento es especialmente utilizado en periodo de escasez de forraje verde o cuando el periodo de lluvia es escaso. Sin embargo no existe en la actualidad datos reportados en la península de Santa Elena que permitan corroborar la eficiencia de su utilización como forraje o suplemento en la alimentación de animales domésticos.

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal de alta calidad nutricional, obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas viables. Su producción es muy rápida (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas

necesarias para ello. La tecnología del FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas para cultivo forrajero convencional tales como avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc. (FAO, 2001)

Con estos antecedentes la presente investigación está dirigida a evaluar la cinética de degradación y digestibilidad de la materia seca, orgánica y proteína cruda del forraje verde hidropónico de maíz en caprinos criollos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, en la provincia de Santa Elena predomina la crianza extensiva de cabras, con baja tecnología y mínima organización de producción, transformación y comercialización, pero principalmente debido a la marcada estacionalidad que repercute en la disponibilidad de pastos naturales, perjudicando al pequeño capricultor, pues los bajos índices productivos y reproductivos que obtienen en ciertos casos no permite el retorno de las inversiones.

Este trabajo busca cubrir las demandas nutricionales de la especie caprina por lo que es necesaria la producción de FVH de maíz por su alto contenido de proteína y su fácil obtención en cualquier época del año.

La necesidad de utilizar el forraje verde hidropónico de maíz es con el fin de evadir las principales dificultades encontradas en zonas con suelos áridos y escasés de lluvias y por consiguiente, bajar producción de forrajes convencionales.

Sin embargo, en la actualidad se sabe que la obtención de carne de cabra puede incrementarse notablemente mediante cambios técnicos en los sistemas de explotación, lo que permitiría mantener una producción constante a través del tiempo, que beneficia directamente a las empresas dedicadas a la transformación de productos cárnicos de origen caprino; mejorando con esto el nivel de vida de los productores.

Son muchos autores que dentro de las alternativas de alimentación para ganado caprino en zonas donde las materias primas son escasas recomiendan el uso de Forraje Verde

Hidropónico, lo que ha creado en algunos productores el afán de implementar esta tecnología en sus sistemas de producción. Interrogantes como; el incremento de peso, el incremento de los costos y la digestibilidad del forraje, se han formulado a partir de la incorporación de esta tecnología dentro de los sistemas de producción animal; por lo que el presente proyecto pretende identificar el aporte que brindan los FVH sobre los parámetros productivos de las cabras criollas de la Península de Santa Elena.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la cinética de degradación y digestibilidad del forraje verde hidropónico de maíz, en cabras criollas en Santa Elena, Ecuador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la cinética de degradación de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda del forraje verde hidropónico de maíz cultivado con diferentes soluciones nutritivas.
- Determinar la digestibilidad *in vivo* de la MS, MO y PC del forraje verde hidropónico de maíz cultivado con diferentes soluciones nutritivas.

1.4 HIPÓTESIS

La cinética de degradación de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda y la digestibilidad *in vivo* del forraje verde hidropónico de maíz no se diferencia en ninguno de los tratamientos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 FISIOLÓGÍA DIGESTIVA DE LOS RUMIANTES

RELLING, A Y MATTIOLI, G (2003, en línea) argumentan que los rumiantes se caracterizan por su capacidad de alimentarse con pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje como: celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no rumiantes. Basada en esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares. Por esta razón se debe tener presente que al alimentar a los rumiantes primero se alimenta a los microorganismos ruminales.

DÍAZ A. *et al.* (sf, en línea) mencionan que la digestión microbiana que tiene lugar en el rumen es la piedra angular de la fisiología digestiva del rumiante. En el rumen se modifica el alimento consumido, se degradan la celulosa y los carbohidratos solubles, se altera la secuencia de aminoácidos de las proteínas y se sintetizan algunas vitaminas del Complejo B. El hecho más sobresaliente de la digestión en los rumiantes es su capacidad para utilizar todas las formas de celulosa. La celulólisis falta en el reino animal, ningún mamífero segrega celulasa, que es la enzima que degrada la celulosa, pero las bacterias y los hongos celulolíticos, que conviven simbióticamente en el rumen, producen un complejo enzimático β -1-4 glucosidasas capaz de solubilizar entre 70 y 90 % de la celulosa.

Según MONTALBETTI A. (sf. en línea), el rumen provee un ambiente apropiado, con un suministro generoso de alimentos, para el crecimiento y reproducción de los microorganismos. La ausencia de aire (oxígeno) en el rumen, favorece el crecimiento de bacterias, entre ellos las que pueden degradar las paredes de las células de plantas (celulosa), para producir azúcares sencillos como la glucosa.

2.2 DIGESTIBILIDAD

La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a su solubilización o ataque por los microorganismos anaerobios ruminales (Giraldo *et al.*, 2006).

GÓMEZ P. (2001, en línea) indica que la digestibilidad de un alimento se puede definir como la cantidad de alimento que ingiere el animal y no es eliminada con las heces, por lo que se presume que fue absorbida.

Según MANRÍQUEZ J. (sf, en línea), la digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino.

CHURCH y POND (1990) afirma que la digestibilidad es un criterio importante porque mide directamente la proporción de nutrientes del alimento que están disponibles para su absorción por el organismo. La digestibilidad verdadera y aparente solamente puede determinarse a través de ensayos de alimentación controlados. Pueden obtenerse valores correspondientes a la digestibilidad de la materia seca del alimento, proteína cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN).

2.3 TÉCNICA *in vivo*

Este procedimiento ha sido usado tradicionalmente para determinar la digestibilidad. La cantidad media diaria de nitrógeno aparentemente absorbido por el animal, se calcula por diferencia entre la cantidad de nitrógeno del alimento consumido y la cantidad excretada en las heces. Esa cantidad, expresada como porcentaje de lo ingerido es el coeficiente de digestibilidad. Puesto que las heces no se componen únicamente de alimentos indigestibles sino que incluyen células descamadas y productos excretados al tracto digestivo, la diferencia entre lo ingerido y lo excretado determinada de esta forma se denomina digestibilidad aparente (DA) (BONDI,1988; EDNEY,1989).

GÓMEZ P. (2001, en línea) argumenta que el método *in vivo* es una técnica que se realiza directamente en el animal. Consiste en suministrar una cantidad conocida de muestra seca de alimento molido en partículas de 2,5 cm en el caso de forrajes o de 1 mm para granos o alimentos balanceados. Posteriormente se recolectan y cuantifican las excretas (heces), asumiendo que la porción de alimento no excretado corresponde a la parte digerida y absorbida. Siguiendo este mismo procedimiento, se puede medir la digestibilidad en el animal por medio de marcadores que se agrega al alimento y que en el momento de recoger las heces se debe tener en cuenta la presencia del primer marcador y termina cuando aparece el segundo. Entre los marcadores conocidos se tiene el óxido crómico, óxido férrico, sulfato de bario y hollín. Con este método se determina el coeficiente de digestibilidad aparente, pues es difícil cuantificar las pérdidas por gases, como el metano y el dióxido de carbono importantes en el metabolismo de los rumiantes.

MANRÍQUEZ J. (sf, en línea) indica que el problema de la determinación de la digestibilidad *in vivo* es esencialmente el establecimiento de un balance apropiado entre los nutrientes que entran a partir de los alimentos y de los que salen a través de las heces. Hay dos métodos posibles: el método de recolección total consistente en la recolección cuantitativa de las heces emitidas que corresponden a uno o muchos alimentos y el método con indicador que ha sido desarrollado para obviar los problemas de la recolección cuantitativa usando un marcador inerte indigerible; el marcador más frecuente usado es el óxido crómico (Edín, 1918) que es incorporado al alimento y luego analizado en él y en las heces.

2.4 TÉCNICA *in situ*

GÓMEZ P. (2001, en línea) define que el método *in situ* sirve únicamente para determinar la digestibilidad ruminal. Para ello se fistulan los animales a nivel del rumen. Se utiliza la técnica de la bolsa de nylon, en la cual se deposita una muestra seca finamente molida, de 1 mm para someterla a un proceso de digestión que tarde de 48 a 72 horas, luego de lo cual se evalúa la digestibilidad del alimento. También se puede utilizar la técnica del hilo de algodón, por medio de la cual se mide la actividad

celulolíticas ruminal, representada por la pérdida de peso que sufre el hilo durante el proceso de digestión ruminal.

Según CEVALLOS A. *et al.* (2008, en línea), en un ensayo los animales fueron mantenidos en pastoreo libre consumiendo pasto kikuyo (*Pennisetum Clandestinum*), sal mineralizada y agua *ad libitum*. Se emplearon sacos de nylon de 10 cm de ancho x 15 cm de largo y con un tamaño de poro de 50 μm de diámetro. Seis gramos de muestra se pesaron y fueron adicionados dentro de cada saco, que posteriormente fueron sometidos a incubación ruminal en cada una de las tres vacas en los horarios 6, 12, 24, 48, 72 y 96 horas. En los horarios 0 y 6 horas, las muestras de forraje fueron incubadas en forma individual, en tanto que en los horarios 12, 24, 48, 72 y 96 las muestras fueron incubadas en duplicado. Las incubaciones comenzaron temprano en la mañana y se hicieron sucesivas de acuerdo a los tiempos programados de permanencia en el rumen, y para facilitar el retiro de todos los sacos al final del tiempo de incubación 96 horas. Después de haber retirado los sacos estos fueron lavados manualmente con agua corriente hasta que escurrió limpia.

ROSETO R. *et al.* (2007, en línea) mencionan que la técnica *in situ* ofrece la posibilidad de determinar la tasa y la extensión de la degradación de los alimentos. Sin embargo, la tasa de pasaje relativa a la tasa de digestión es una propiedad dinámica que afecta la digestibilidad.

2.5 TÉCNICA *in vitro*

Los estudios de digestibilidad son tan laboriosos de llevar a cabo que se han hecho numerosos intentos para reproducir en el laboratorio las reacciones que tienen lugar en el tracto digestivo del animal, con el objeto de poder determinar la digestibilidad de los alimentos. No es fácil reproducir, en su totalidad, la digestión de los animales monogástricos, pero la digestibilidad de las proteínas puede determinarse mediante las técnicas multienzimáticas y el ataque *in vitro* con pepsina y ácido clorhídrico (MC DONALD *et al.*, 1986).

El procedimiento propuesto por (Tilley and Terry, 1963) es, con ligeras modificaciones, el más ampliamente utilizado en la mayoría de los laboratorios. Sin embargo, la técnica desarrollada por Van Soest y sus colaboradores (Van Soest *et al.*, 1966) supone una alternativa al método de Tilley y Terry, ya que permite una valoración más rápida de los alimentos sin afectar negativamente a la precisión del valor obtenido (Van Soest, 1994). Este procedimiento consiste en una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 h a 39°C, seguida del tratamiento del residuo obtenido con una solución neutro-detergente durante 1 h a 100°C, y los valores obtenidos se consideran una estimación de la digestibilidad real de los alimentos (Van Soest *et al.*, 1966).

2.6 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN RUMINAL

Según GALYEAN y MAY (1995), la tasa de pasaje de las partículas del rumen puede tener un efecto importante en el consumo y digestibilidad. Los forrajes picados y peletizados tienden a incrementar la tasa de pasaje, seguido por un incremento en el consumo voluntario de alimento. Al mismo tiempo es a menudo reducida por el picado y peletizado de los forrajes, pues las partículas tienen oportunidad para sufrir fermentación. Además, los cambios en la digestibilidad pueden tener efecto en la tasa de pasaje. Si el alimento es reducido a partículas más pequeñas, la tasa de pasaje puede incrementarse y subsecuentemente, el consumo se incrementa.

NOGUERA R y OCHOA S (2007, en línea) concluyen en un ensayo que la cinética de degradación es solo una de las fuentes de variación que pueden afectar la tasa y la extensión de la degradación. En ensayos de digestibilidad *in situ* estos parámetros pueden ser directamente afectados por los horarios de incubación escogidos para construir la curva y el número de unidades experimentales utilizadas para este tipo de estudios.

La degradabilidad ruminal, tiene un valor relativo, pues depende de dos aspectos: velocidad de degradación y velocidad de tránsito ruminal. A su vez, la primera se determina por la solubilidad y estructura molecular y actividad de los microorganismos y puede ser afectada por: el pH, el tamaño de partícula, la relación forraje: concentrado,

y otros factores como la ingestión de agua o materia seca, alterando la degradabilidad ruminal (ROSETO y POSADA, 2007)

El recambio ruminal (expresado en h) de líquidos y sólidos se refiere al tiempo requerido para el ingreso de un material dado, en una cantidad igual a la existente en el rumen. Este parámetro es la recíproca de la tasa de dilución. La tasa de recambio de la porción líquida y sólida es la cantidad de material que sale del rumen por unidad de tiempo, y la tasa de recambio fraccional o tasa constante es la fracción del total de las partículas del rumen, emergiendo del mismo por unidad de tiempo (ELLIS *et al.*, 1979)

HERRERA E. *et al.* (2010, en línea) afirman que las estimaciones relacionadas con las características fermentativas y energéticas del FVH a 10 días de cosecha le confieren a este un valor nutritivo superior, lo cual podría traducirse en mejores rendimientos productivos al utilizarlo como suplemento en la alimentación animal.

FERREIRO (1990) sostiene que el tiempo de tránsito representa el mínimo tiempo necesario para que una partícula pase a través del tracto gastrointestinal (TGI) hasta el punto de muestreo, sin entrar en ningún compartimiento, y el tiempo medio total de retención es la suma del tiempo de tránsito más la recíproca de la tasa rápida (k_2) y lenta (k_1). El tiempo medio de retención lo estima sumando los recíprocos de las dos tasas y lo define como la mitad del tiempo en que las partículas pasan en el compartimiento.

Según OWENS y HANSON (1992), la cinética ruminal es muy importante para comprender y en su caso manipular los procesos digestivos del ganado. La remoción de los residuos del rumen determina el tiempo disponible para la fermentación y por lo tanto el llenado ruminal y eficiencia en síntesis de proteína microbiana. Los fluidos pasan más rápido que las partículas pequeñas, y estos más rápidos que las partículas más grandes.

2.7 FERMENTACIÓN RUMINAL

VAN LIER E y REGUEIRO M. (2008, en línea) afirman que la fermentación ruminal

es la actividad metabólica de los microorganismos (m.o) presentes en el rumen. La digestión propia de la mayoría de los mamíferos ocurre en el estómago y el intestino delgado por enzimas producidas por el animal mismo. Esto se denomina ‘digestión autoenzimática’. En los rumiantes, la degradación de los sustratos moleculares por la acción de bacterias y otros m.o. se realiza por una hidrólisis enzimática igual que en la digestión glandular; la diferencia mayor es que las enzimas digestivas en la fermentación son de origen microbiano, por lo que se le denomina ‘digestión aloenzimática’.

YOKOHAMA Y JHONSON (1988) indican que el rumen es una cámara de fermentación anaeróbica. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, manteniendo condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano. Estos microorganismos dependen del rumiante para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento y el rumiante depende de los productos de fermentación anaeróbica del alimento fibroso que ingiere y de la actividad biosintética microbiana, para cubrir sus propias necesidades nutritivas.

Según CASTRO A. (2014, en línea), en los caprinos, la flora y fauna microbiana adquiere considerablemente importancia, al ser las responsables de la mayor parte de la actividad digestiva que ocurre en el animal. En términos generales, se considera que más del 70% de la energía que utiliza la cabra, se deriva de los ácidos grasos volátiles resultantes de la fermentación microbiana. En el caso de la mayor parte de las fuentes proteicas que ingieren los rumiantes, se considera que se hidrolizan de un 50 a un 70% por acción de las enzimas microbianas de manera tal, que sólo de un 30 a 50% de las proteínas ingeridas son digeridas como tales por el animal.

2.8 DIGESTIÓN DE PROTEÍNAS

GUADA. J.A (1993, en línea) expone que en el rumen la proteína es degradada a cetoácidos y amoníaco, siendo este último la principal fuente de N para la síntesis microbiana. La intensidad de este proceso degradativo es variable y depende de la

magnitud de la fracción potencialmente degradable y de su tiempo de retención en el rumen.

CUELLAR N y DÍAZ A. (2001, en línea) exponen que la proteína es particularmente vulnerable a la fermentación ruminal, debido a que está formada por carbonos, los cuales se pueden reducir todavía más que los carbohidratos para proveer energía a los microorganismos. Los microorganismos del rumen son capaces de sintetizar todos los aminoácidos, incluyendo los esenciales para el hospedero.

2.9 DIGESTIÓN DE CARBOHIDRATOS

PICHU L. (sf, en línea) argumenta que los carbohidratos de la dieta que entran al rumen son hidrolizados por enzimas extracelulares de origen microbiano. En el caso de los carbohidratos fibrosos, el ataque requiere de una unión física de las bacterias a la superficie de la partícula vegetal, la acción de las enzimas bacterianas libera principalmente glucosa y oligosacáridos hacia el líquido ruminal por fuera de los cuerpos celulares microbianos. Estos productos no son aprovechados por el rumiante, en su lugar, son rápidamente metabolizados por la microbiota ruminal.

SANTACOLOMA L. (2009, en línea) indica que los carbohidratos tienen diferentes velocidades de fermentación, los carbohidratos solubles (sacarosa) se degradan rápidamente mientras la celulosa se degrada de manera más lenta. Las pectinas y los almidones tienen una velocidad de degradación intermedia, el almidón tiene como producto de su degradación la glucosa, la cual constituye un sustrato muy importante para la flora ruminal.

2.10 FÍSTULAS EN RUMIANTES

RIVERA B y ESTRADA J (1986, en línea) explican que la utilización de bovinos fistulados en el rumen es parte integral de las investigaciones sobre composición botánica de las pasturas y del valor nutritivo de las dietas seleccionadas para animales en pastoreo. En la práctica clínica estos animales permiten la obtención rápida de jugo ruminal, utilizado con frecuencia en estudios para evaluar sobre trastornos digestivos.

BOTERO R. (sf, en línea) manifiesta que la utilización de animales fistulados en el rumen es una ayuda valiosa en la evaluación de la calidad de las pasturas tropicales, esta técnica se ha empleado con éxito en la fistulación de bovinos, caprinos y ovinos utilizados en ensayos de pastoreo.

2.11 PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO EN FISTULACIÓN

Según CABRERA R *et al.* (1996, en línea), los animales se mantuvieron sin alimento por 48 h, se atropinizaron y anestesiaron con Ketamina (Ketostop) i.m. 10 mg/kg de peso y se infiltraron localmente con lidocaína al 2%. El peritoneo fue abierto y la pared ruminal fijada al borde de la piel usando puntos en 'U', cuidando de mantener siempre el peritoneo entre las dos capas. Finalmente, el círculo de pared ruminal comprendido entre las suturas, fue removido y la zona fue tratada con Qemispray. La fístula fue inmediatamente cerrada con una cánula construida en goma prevulcanizada dotada de un tubo central de PVC con tapa atornillada. Durante cinco días los animales fueron tratados con antibióticos (i.m.) y las suturas fueron removidas al séptimo día.

BOTERO R. (sf, en línea) afirma que el animal que se va a fistular debe someterse a un ayuno previo de 12 horas con el objeto de reducir el volumen de sólidos en el rumen. Durante este tiempo se le debe permitir el acceso a agua y minerales, para mantener su hidratación orgánica durante el proceso quirúrgico el animal debe permanecer de pie para no perder sus relaciones topográficas, esto se logra mediante la aplicación de un tranquilizante en una dosis mínima de sedación. Sobre el ijar izquierdo se demarca el área de fistulación y se realiza un lavado completo, a continuación se procede a la depilación del área y a la aplicación de anestesia local en forma subcutánea para insensibilizar los nervios lumbares. Después de aplicar una solución antiséptica sobre la piel se procede a hacer una incisión recta y perpendicular de longitud igual al mayor diámetro de la cánula. Una vez se tiene el rumen a la vista y en su posición normal con las pinzas se presiona hacia afuera para sacarlo sobre la piel, se sutura para facilitar la adherencia en forma rápida a la piel.

CABRERA R. *et al* (1980) manifiesta que los animales fueron mantenidos en ayunas por 72 horas, atropinizados (0,04 mg/kg) y anestesiados con Ketamina (Ketostop) i.m.

en dosis de 10 mg por kilo de peso. La zona de abordaje (punto central de un triángulo del flanco izquierdo, formado por el último arco costal, el extremo de las apófisis transversas de la parte lumbar de la columna y la parte anterior de la pelvis) se depiló y desinfectó (Povidona yodada) y se procedió a infiltrar localmente con Lidocaína (2%) en forma de anillo, los planos cutáneos y musculares. Los animales fueron operados en la posición de decúbito lateral derecho sobre una mesa. Una vez logrado el nivel de inconsciencia y analgesia local deseada, se procedió a incidir la piel con bisturí en forma de círculo de 10 cm de diámetro aproximadamente, removiendo el trozo de piel, para luego abrir los planos musculares abdominales correspondientes (oblicuo abdominal externo, oblicuo abdominal interno, transverso del abdomen) y la fascia transversa empleando disección roma con tijeras. Exponiendo el peritoneo, se procedió a su abertura, pinzando los extremos de él para facilitar su sutura durante la fase de síntesis de la pared abdominal. Para fijar el rumen a la piel en su posición definitiva, se realizó una sutura no perforante empleando hilo de lino con puntos en "U" que traspasaban piel, peritoneo y pared del rumen (comprometiendo peritoneo visceral y musculatura, sin entrar a la mucosa), para luego salir atravesando peritoneo y piel nuevamente. Antes de anudar cada punto, se colocó un capitón de gasa para aumentar la superficie de contacto del punto con los tejidos y disminuir las posibilidades de desgarro. Estas suturas se repitieron en los cuatro puntos cardinales de la incisión, cuidando de mantener la posición normal del rumen en relación con la abertura en la pared abdominal. Se completó la sutura de la zona colocando puntos intermedios en los espacios entre los primeros cuatro puntos hasta asegurar un cierre hermético de la pared abdominal, siempre empleando la técnica aséptica o no perforante.

2.12 TÉCNICAS DE DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA

ORSKOV *et al.* (1980) indican que la técnica *in situ* se puede realizar mediante bolsas de nylon de tela filtrante, éstas se atan a una cadena usando hilo de tracción o de polipropileno; deben estar separadas para evitar interferencia. Cada bolsa debe estar identificada con colores o marcador permanente para evitar errores de lectura al momento de lavarlas al ser retiradas del rumen.

Las bolsas deben ser lavadas con agua corriente hasta que esta salga totalmente clara.

Las técnicas *in situ* constituyen un procedimiento alternativo a las *in vitro*, en cuanto proveen resultados comparables respecto a la estimación de la degradabilidad de los forrajes. En estas el proceso fermentativo ocurre en muestras de forraje contenidas en bolsas de dacrón o polyester, las que son introducidas en el rumen de animales fistulados (ORSKOV *et al*, 1980)

2.13 FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH)

2.13.1 Definición

Según SÁNCHEZ J. (2007, en línea), el forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz - sorgo cebada -alfalfa) que se realiza durante un período de 10 a 12 días, captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva.

ADUM M. (sf) menciona que el forraje verde hidropónico no es más que la siembra de pastos o cereales sin sustrato, solo con agua y nutrientes; consiste en poner a germinar y crecer semillas o granos de pastos y cereales en bandejas colocadas en perchas y estas a su vez dentro de un local que proteja las siembras del clima y poder controlar la luz, la humedad y la temperatura.

SANTANDER F. (sf, en línea) argumenta que el forraje verde hidropónico es un pienso o forraje vivo para alimento de animales para producción de carne o leche. Se produce bajo la técnica del cultivo sin suelo en invernadero, que permite el control del gasto de agua y de todos los elementos del micro-clima para poder producirlo aún en condiciones adversas.

FAO (sf, en línea) indica que el forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas viables. El producto final es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

2.14 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO

2.14.1 Selección de semilla

La semilla seleccionada debe ser de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local (SÁNCHEZ, 2001).

Determinada la especie a ser utilizada y que esté garantizada la madurez fisiológica de la semilla así como su contenido de humedad (12%), el fin de esta actividad es la de garantizar que se utilicen semillas de cereales o leguminosas de lotes limpios de malezas y que estén libres de plagas y enfermedades o granos partidos. No se debe utilizar semillas tratadas con fungicidas. (PEREZ J, 1999)

2.14.2 Lavado y desinfección de la semilla

Se inunda el grano en un tanque o recipiente, con el fin de retirar todo el material que flote como: lanas, basura, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas que no hubiesen sido retiradas en la selección. De este modo se asegura una semilla viable. (HOWAR R, 2001)

ADUM M. (sf) indica que el proceso para el lavado y desinfección de la semilla se sigue los siguientes pasos:

1. Lave bien las semillas aprovechando ese momento para separar los granos que floten, pues no germinarán
2. En un tanque plástico, sumerja las semillas en una solución de hipoclorito de sodio (cloro) al 1 % (10 cc hipoclorito de sodio por cada litro de agua), durante un minuto.
3. Pasado el minuto, se retira la semilla y se la enjuaga con abundante agua limpia (eliminar restos de cloro).

4. Coloque las semillas en una bolsa de tela (yute, algodón, liencillo) y sumérlas en un tanque plástico, con agua limpia, por seis horas.
5. Luego saque la bolsa con las semillas y espárzalas en un mesón limpio para que se oreen por una hora (bajo sombra).
6. Inmediatamente, vuelva a colocar las semillas en la funda y nuevamente sumérlas en el tanque, al que habrá renovado el agua, por 6 horas más.
7. Pasadas estas 6 horas, volvemos al oreo en el mesón por 3 horas y luego ponerlas en un bidón plástico con tapa, sin agua por 48 horas.

2.14.3 Germinación

Las condiciones determinantes del medio son: aporte suficiente de agua, oxígeno y temperatura apropiada. Durante la germinación, el agua se difunde a través de las envolturas de la semilla y llega hasta el embrión, que durante la fase de descanso se ha secado casi por completo. El agua hace que la semilla se hinche, a veces hasta el extremo de rasgar la envoltura externa. El oxígeno absorbido proporciona a la semilla la energía necesaria para iniciar el crecimiento (CABALLO, 2000).

La semilla, por lo general en la mayoría de las especies forrajeras, tales como gramíneas dura de 2 a 3 días, este proceso se facilita gracias al tratamiento de hidratación que se le da a la semilla en la pregerminación. La germinación inicia desde el momento en que se somete la semilla a hidratación. Las enzimas se movilizan invadiendo el interior de la semilla y ocurre una disolución de las paredes celulares por la acción de ellas. Posteriormente se liberan granos de almidón que son transformados en azúcares. (NAVARRETE R, 2008).

2.14.4 Riego

A partir del momento de la siembra se debe regar con la finalidad de que la charola no pierda humedad, los riegos son variables dependiendo de la etapa de crecimiento del forraje y las condiciones de temperatura, se debe evitar encharcamiento o inundaciones de lo contrario se producirá pudrición en las raíces (GARCÍA, 2004).

El riego puede realizarse en forma automática o en forma manual. Cuando el riego es automático se requiere una bomba, un tanque de almacenamiento, tubos y mangueras de distribución, ya sea para regar por micro aspersores o con atomizadores por asperción. Cuando no hay recursos se hará con una manguera o con un balde con hoyos en el fondo. Se hace con una frecuencia de 5 a 8 riegos diarios (PEREZ J, 1999)

2.14.5 Cosecha

Esta es la culminación del proceso. Una vez que las plántulas han alcanzado una altura de 14 a 18 centímetros, se habrá formado una alfombra de pasto verde con un colchón radicular blanco y consistente. Esta alfombra se desprende y está listo para dárselo al animal, existe una estrecha relación entre el tamaño y el porcentaje de proteína que contiene este alimento dándose a esta altura el tamaño óptimo y mayor contenido de proteína (RODRÍGUEZ, 2003).

Se la realiza cuando la plántula ha alcanzado una altura promedio de 15 a 25 cm. Este desarrollo demora entre 9 y 15 días, dependiendo de la temperatura, las condiciones ambientales, el invernadero y la frecuencia de riego. Como resultado se obtendrá un gran tapete radicular, ya que las raíces se entrecruzan unas con otras por la alta densidad de siembra. (NAVARRETE R, 2008)

2.15 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FVH

FAO (2001, en línea) reporta que los métodos de producción de FVH cubren un amplio espectro de posibilidades y oportunidades. Existen casos muy simples en que la producción se realiza en franjas de semillas pre-germinadas colocadas directamente sobre plásticos de 1 m de ancho colocadas en el piso y cubiertas, el FVH se produce a partir del trabajo de un operario que sólo se remite a sembrar y cosechar mientras que todos los demás procesos y controles son realizados en forma automática.

TARRILLO H. (2014, En línea) indica que el FVH se produce en bandejas de plástico, colocados en estantes de fierro, en cada bandeja se coloca 1 kilo de semilla de cebada (también se puede trabajar con avena, trigo y maíz) al cabo de 10 a 12 días cada kilo de semilla se habrá convertido en una masa forrajera de 6 kilos, consumible en su totalidad

(raíces, tallos, hojas y restos de semillas) lo que constituye una completa fórmula de proteína, energía, vitaminas y minerales. Este cultivo se produce dentro de invernaderos rústicos, que permite una protección del cultivo contra las bajas temperaturas, además a la exposición directa de los rayos del sol y de las lluvias.

2.16 ALIMENTACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE ANIMALES CON FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (FVHM)

2.16.1 Alimentación de ovinos

HYDRO ENVIRONMENT (2011, en línea) explica que se debe suministrar:

2.5 kg a ovejas en gestación.

3.5 a 4 kg a ovejas en lactación.

3 kg a borregos de engorde.

1 kg a corderos.

2.5 kg de FVHM a carneros respectivamente.

Según ROSAS A. (sf, en línea), los ovinos necesitan cantidades de FVHM en diferentes etapas de crecimiento.

Ovejas en gestación de 50 kg de peso vivo: 2.5 kg de FVHM

Lactación 1 cordero: 3.5 kg de FVHM

Lactación 2 corderos: 4.0 kg de FVHM

Carne: 3.0 kg de FVHM

Cordero: 1.0 kg de FVHM

Carnero: 2.5 kg de FVHM

2.16.2 Alimentación de toretes

CUEVA M. (2010, en línea) menciona que en el ganado productor de carne, se ha observado una disminución de grasas amarillas y una mayor proporción de grasas blancas; además de que la carne presenta una excelente apariencia. Para este tipo de

ganado se recomienda suministrar en la etapa de levante 13 kg mientras que en la etapa de engorde 17 kg/día de FVHM.

ESPINOZA F. *et al.* (2004. en línea) mencionan en un ensayo que no se encontraron diferencias significativas dentro de cada semana de evaluación en la ganancia diaria de peso, a excepción de la última semana ($P < 0,01$), la cual fue de 1.457 g/animal/día para los animales del tratamiento dos, mientras que para el testigo fue de -679 g/animal/día. Sin embargo, la ganancia de peso final fue de 696 y 1.107 g/animal/día ($P < 0,01$) en los tratamientos a base de pasto fresco picado y pasto más 30 % de FVHM, respectivamente. Los resultados con el uso de FVHM son superiores a los obtenidos por otros autores con animales de raza similares (Holstein x Cebú) utilizando otras fuentes proteicas como cama de pollo (680 a 990 g/animal/día; Saddy *et al.*, 2002) y cultivo de levadura (780 g/animal/día; Combellas *et al.*, 2002) en animales de raza indefinida con predominancia Cebú. En otro trabajo usando también cama de pollo los resultados de peso fueron similares al presente ensayo (1.240 g/animal/día; Gerig *et al.*, 2000). No obstante, los valores obtenidos en el ensayo fueron inferiores a los encontrados por Godoy *et al.* (1993), utilizando animales de la misma raza con pesos similares en dietas a base de harina de pescado y harina de ajonjolí con el uso o no de formaldehído (1.399 a 1.543 g/animal/día). Si bien no son resultados comparables literalmente, sirven como ejemplo de calidades de fuentes alternativas de proteína.

2.16.3 Alimentación de vacas lecheras

CUEVA M. (2010, en línea) manifiesta que se debe suministrar de 12 a 18 kg de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM), repartidos en dos raciones, generalmente a las horas de ordeña, suprimiendo otros complementos como los concentrados. En investigaciones recientes se ha descubierto que al aportar hasta 1800 gramos de proteína por día, se encuentran aumentos en la producción lechera entre un 10 a 20%, en comparación con dietas tradicionales. Uno de los problemas que enfrentan los ganaderos cuando incrementan la producción lechera, es la disminución de la fertilidad en el animal. Los resultados obtenidos con FVHM respecto a la fertilidad son buenos.

ROMERO M. *et al* (2009, en línea) manifiesta en un ensayo que se utilizó el forraje verde hidropónico de maíz para alimentar al ganado lechero como parte de las pruebas de aceptación, se observa el equipo empleado para mezclar los alimentos proporcionados al hato ganadero. Se ofreció al ganado mezclando el FVHM con ensilado de maíz, concentrado, alfalfa ensilada y paja de sorgo. La producción fue programada para alimentar diariamente 110 vacas en producción, con una cantidad aproximada de 4,5 kg de FVHM en base fresca, ya que fue la ración asignada a cada vaca en producción, esto fue obligado por el total de charolas diarias, que fue del orden de 140 aproximadamente por día.

2.16.4 Alimentación en cuyes y conejos

Según la FAO (sf, en línea), un cuy de 500 a 800 g de peso consume en forraje verde hasta el 30 % de su peso vivo. Se satisfacen sus exigencias con cantidades que van de 150 a 240 g de forraje por día. Un conejo debe comer diariamente el 15% de su peso vivo. Por ejemplo, si pesa 4 kg debe comer 600 g de alimento al día, pero si tiene mayor apetito y come más, no es un problema el FVHM constituye la fuente principal de nutrientes, en especial de vitamina C.

USCA J. (2000) indica que al evaluar el uso de forraje verde hidropónico en la alimentación de cuyes durante las etapas de crecimiento y engorde, obtuvo con el 100 % de FVHM las mejores respuestas en el peso final 0.973 kg ganancia de peso 0.717 kg conversiones alimenticias más eficientes 5.996

2.16.5 Alimentación en cabras

ADUM M. (sf) indica que las cabras por tener un retículo rumen pequeño, el tránsito del alimento por el tracto intestinal es más rápido que otros rumiantes y su ingesta de alimentos es alta, por su menor digestibilidad. Sin embargo es más eficiente en el nivel de consumo de nutrientes digeridos. Esta condición de consumo alto de alimentos, obligan a no acumularlo en los comederos, pues lo desperdiciarían y también a ofrecerles alimento de óptima calidad y digestibilidad.

2.16.5.1 Consumo voluntario

MINSON J. (1990) menciona que el consumo de forraje por animales en pastoreo es controlado por factores propios del animal, del forraje y del ambiente. La mayoría de éstos son iguales para animales en estabulación que en pastoreo; sin embargo, enfatiza en dos aspectos específicos para animales en pastoreo, la selectividad y la disponibilidad de forraje.

CHÁVEZ M. (1990) cita que durante las fases de crecimiento y los ciclos reproductivos se presentan cambios importantes en los requerimientos de los animales en pastoreo. Las etapas de preñez y lactancia representan un considerable incremento en la demanda de energía; sin embargo, tiene diferentes efectos en el consumo voluntario de forraje, ya que un animal gestante se encuentra físicamente con menos capacidad digestiva a consecuencia del crecimiento uterino y la compresión rumen.

MURDEN Y RISENHOOVER (1993), citado por MELLADO M. *et al* (2004), afirman que los animales en un estado nutricional de alta calidad suelen ser más selectivos y escoger diferentes dietas de los animales que tienen mala nutrición. Hasta donde sabemos, no hay datos sobre diferencia por edades en las dietas de cabras.

KAWAS J. (1995) señala la importancia de la suplementación mineral en los rumiantes en pastoreo, al mencionar que la deficiencia de nitrógeno, azufre, fósforo, magnesio, sodio, cobalto y selenio reducen el consumo voluntario de forraje al inhibir la digestión de la materia orgánica.

ALLISON C. (1985) reportó diferencias significativas en el promedio de consumo de materia seca entre vacas lactando, preñadas y secas; el consumo de animales lactando fue mayor que para vacas preñadas o secas y las vacas preñadas consumieron más que las vacas secas; también señaló que los animales jóvenes son más selectivos, prefieren forrajes con mayores niveles de proteína cruda y menores de fibra detergente ácido y celulosa al compararlos con las vacas adultas.

DISTEL *et al.* (1993) concluyeron que las limitaciones sobre el consumo de forraje de baja calidad impuesta por niveles altos de fibra y bajos de proteína pueden ser atenuadas

por medio de la exposición de los animales a estos forrajes a temprana edad, para crear adaptación e inclusive preferencia por forrajes fibrosos en los animales en pastoreo.

2.17. BROMATOLOGÍA

2.17.1 Determinación de proteína cruda (PC)

Según SELECTA (2011, en línea), En 1883 el investigador danés Johann Kjeldahl desarrolló el método más usado en la actualidad para el análisis de proteínas (método Kjeldahl) mediante la determinación del nitrógeno orgánico. En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con cloruro de hidrogeno (HCl) o ácido sulfúrico de Hidrógeno (H_2SO_4) estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra

JUÁREZ F. y MONTERO M. (sf, en línea) señala que el nitrógeno es oxidado a sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ por ingestión con ácido sulfúrico de Hidrógeno (H_2SO_4) concentrado. Lo digerido se alcaliniza con hidróxido de sodio (NaOH) concentrado y el amoníaco (NH_3) es destilado y colectado en una solución de ácido bórico al 4%. El borato de amonio producido es titulado con HCl estándar. La cantidad de nitrógeno obtenido es multiplicada por el factor 6.25 para llegar al contenido de proteína cruda de la muestra.

FAO (sf, en línea) asegura que el método más preciso para la determinación de concentraciones proteicas es probablemente el método de hidrólisis ácida. La mayor parte de los otros métodos son sensibles a la composición de aminoácidos de las proteínas y no pueden ser obtenidas concentraciones absolutas. El procedimiento de Lowry no es la excepción, pero es sensiblemente constante de proteína a proteína, lo cual ha hecho que sea ampliamente usado y que las determinaciones sean una alternativa completamente aceptable con un rigor absoluto en todas las determinaciones

en casi todas las circunstancias en donde se involucren mezclas de proteínas o extractos crudos. Este método utiliza una solución, Tiocianato- sen 1, que contiene cobre (aumenta la sensibilidad en la determinación de proteínas) y un reactivo, llamado Reactivo de Folin, que se reduce en presencia de proteínas. Las especies reducidas cambian su color hacia el azul y son capaces de ser leídas por el espectrofotómetro para averiguar su absorbancia.

2.17.2 Determinación de fibra cruda (FC)

Según CINA (2011, en línea), En todo el mundo la fibra cruda se emplea para caracterizar a los alimentos. Fue un método desarrollado por Weende en Alemania. El procedimiento en sí es empírico. Es parte del análisis próximo. Los resultados pueden variar a consecuencia de una variación en la acidez o alcalinidad o a la duración y a la temperatura de los períodos de ebullición, esta variación se reduce al mínimo teniendo el método bajo control analítico y aseguramiento de la calidad del resultado mediante muestras Inter laboratorio. La extracción de la fibra, por digestión con ácido y álcali, es la de más fácil digestión de los nutrimentos contenidos en los alimentos. El residuo insoluble es la “fibra cruda”.

FAO (sf, en línea) señala que el análisis proximal weende permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

2.17.3 Determinación de extracto etéreo o grasa cruda (EE)

JUÁREZ F y MONTERO M. (sf, en línea) indican que para determinar el extracto etéreo los aceites y grasas presente en la muestra seca se extraen para cuantificarse con un disolvente orgánico, éter etílico o petróleo. Por este método también se extraen otras sustancias solubles en estos disolventes como ceras y pigmentos. En el caso de forrajes verdes ricos en clorofila y pigmentos el método descrito sobreestima el contenido de grasa. Este método cuantifica las sustancias extraíbles en éter etílico.

Según CINA (2011, en línea), el extracto etéreo sirve para medir la cantidad de grasa contenida en un alimento o verificar la pureza de alguna grasa o aceite. Se realizan extracciones con éter etílico. Para el análisis proximal de materiales vegetales, siempre debe hacerse referencia al “extracto etéreo” y no al de “grasa”, para designar la porción extraída; esto se debe que además de grasa, el éter extrae pigmentos vegetales, ceras, etc. Este método se aplica para la determinación de extracto etéreo en alimentos balanceados, forrajes y materias primas para animales excepto para alimentos estrujados, productos del secado de leche o contenido de urea.

2.17.4 Determinación de la materia seca (MS)

VAN ES y VAN DER MEER (1978) comentan que en cuanto a preparación de muestras para análisis de materia seca, las recomendaciones van desde la trituración y realización de análisis en fresco hasta liofilización, secados a 40 °C durante 72 h, a 50-70 °C durante 48-24 h, o a 80°C durante 24h previas a molienda.

WATTIAUX (2001) indica que una muestra de alimento colocada en un horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, el agua se evapora y el alimento seco restante se llama materia seca. Los alimentos contienen cantidades diferentes de agua. En sus etapas inmaduras las plantas contienen 70-80 % de agua (es decir 20-30 % MS). Sin embargo, las semillas no contienen más de 8 a 10 % de agua (90 - 92 % MS). La MS del alimento contiene todos los nutrientes (excepto agua) requeridos por los animales.

VAN SOEST (1994) argumenta que para determinar el análisis de materia seca se recomienda a 70°C en estufa de aire forzado, para evitar pérdidas sensibles de carbohidratos solubles y formación de complejos indigestibles proteína-carbohidratos. La formación de proteínas insolubles y productos de Maillard incrementa con la temperatura.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST (AOAC) (1960), indica que la determinación de materia seca en el caso de los ensilados, el problema se agrava debido a que como consecuencia de los procesos fermentativos se producen materiales volátiles, tales como alcoholes, amoníaco, ácidos grasos volátiles y ácido láctico.

Pueden evaporarse junto con el agua en el proceso de desecación en estufa, con lo cual la materia seca sería infravalorada de forma sistemática. Por tanto, en vez de la desecación, el método tradicionalmente aceptado para este tipo de forrajes conservados es la destilación con tolueno. La destilación consiste en extraer la humedad de la muestra aplicando tolueno sobre la muestra, este es inmiscible con agua. Se condensa y se recoge la mezcla que se separa por destilación y se mide el volumen de agua extraída.

2.17.5 Determinación de fibra detergente ácida (FDA)

FAO (sf, en línea) menciona que el análisis proximal weende permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento. La muestra es digerida por medio de cetil-trimetil-amonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible.

LOPEZ D. (sf, en línea) indica que para realizar determinación de fibra detergente ácido existe la técnica de Van Soest utilizando el método gravimétrico, que consiste en someter la muestra a ebullición con bromuro decetil trimetil amonio en medio ácido y subsecuente filtración y lavado del residuo. Este método da una buena estimación de celulosa y lignina. En el residuo se puede analizar la celulosa o lignina.

2.17.6 Determinación de fibra detergente neutro (FDN)

JUÁREZ F. y MONTERO M. (sf, en línea) afirman que el mezclado de los reactivos usados en el sistema detergente requiere de la medición de grandes cantidades de agua. Los recipientes adecuados para manejar esos volúmenes de agua a lo mucho aseguran un $\pm 5\%$. Por lo tanto, es conveniente tener series de matraces de Erlenmeyer de 2, 4 y 6 litros precalibrados para contener las cantidades exactas. La calibración puede ser hecha pesando en el matraz la cantidad de agua equivalente al volumen deseado y marcar al matraz en el menisco.

FAO (sf, en línea) considera que el análisis proximal weende es útil para la determinación de fibras vegetales en alimentos. Aparentemente tiene la capacidad de separar los componentes nutricionales solubles de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación biológica para su aprovechamiento.

El método tiene limitaciones en su precisión cuando los valores de proteína son muy altos y los valores de fibra son bajos.

2.17.7 Determinación de ceniza

Según CINA (2011, en línea), el análisis de ceniza es el residuo inorgánico de una muestra incinerada que se determina con el propósito de analizar el mineral, cantidad de materia orgánica y total de nutrimentos digeribles, y señalar la presencia de adulterantes minerales. La determinación de ceniza permite encontrar la adición de materias inorgánicas a un alimento. Se basa en la calcinación de la muestra a 600° C por 4 a 6 horas.

FAO (sf, en línea) manifiesta que el análisis proximal mediante la técnica weende se emplea para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.

2.17.8 Extracto libre de nitrógeno (ELN)

CINA (2011, en línea) interpreta que el extracto libre de nitrógeno es una categoría del sistema Weende que se encuentra por diferencia; $ELN = 100 - (\text{ceniza} + \text{extracto etéreo} + \text{proteína} + \text{fibra})$. Esta fracción no contiene ninguna celulosa, pero puede contener hemicelulosa y algo de lignina, además puede contener todos los productos solubles en agua que son insolubles en éter como por ejemplo vitaminas hidrosolubles. La mayor parte del ELN se compone de almidón y azúcares.

FAO (sf, en línea) expone que dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente dentro del análisis proximal, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados; debido a que se obtiene como la resultante de restar a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los errores cometidos en su respectiva evaluación repercutirán en el cómputo final.

2.17.9 Determinación de la materia orgánica (MO)

WATTIAUX (2001) manifiesta que los compuestos que contienen carbón (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), son clasificados como MO. Los compuestos inorgánicos o minerales son los demás elementos químicos (calcio, fósforo, etc.). Cuando una muestra de alimento está colocada en un horno y mantenida a 550 °C por 24 horas la materia orgánica es quemada y la materia restante es la parte mineral, llamada ceniza. En las plantas, el contenido de minerales varía entre 1 a 12 %. Los forrajes usualmente contienen más minerales que las semillas o granos. Los subproductos de animales que contienen huesos pueden tener hasta 30 % de minerales (principalmente calcio y fósforo).

Según LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA (sf, en línea), Las cenizas representan el contenido en minerales del alimento; en general, las cenizas suponen menos del 5% de la materia seca de los alimentos. Los minerales, junto con el agua, son los únicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía; por el contrario, la materia orgánica comprende los nutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) que se pueden quemar (oxidar) en el organismo para obtener energía, y se calcula como la diferencia entre el contenido en materia seca del alimento y el contenido en cenizas. Las cenizas se determinan como el residuo que queda al quemar en un horno o mufla los componentes orgánicos a 550 °C durante 5 h. En ocasiones es interesante determinar las cenizas insolubles en ácido clorhídrico, que pretenden representar el contenido del alimento en minerales indigestibles para el animal.

2.18 DIGESTIBILIDAD DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

HERRERA A. *et al.* (2007, en línea) afirman en un ensayo que la degradabilidad ruminal acumulada de la MS del FVHM a las 48 horas fue 42,2 %, si se toma en consideración la cantidad de lignina presente en este (43,42 %), solo faltaría un 14,38 % de la materia seca por ser degradada, pudiendo esto ocurrir a nivel intestinal. Ello indicaría la posibilidad de una mejor calidad del FVHM si se retirase la cascarilla de arroz utilizada como medio de germinación del maíz. La lignina es un material

indigestible, siendo su mayor implicación el hacer menos aprovechables a componentes como celulosa o hemicelulosa cuando está asociada a ellos. En concordancia con esto, la elevada concentración de lignina (43,4 %) del FVHM, podría estar afectando en forma negativa la degradabilidad del material y tal vez esta sea la causa del bajo valor obtenido para la determinación en cuestión.

CERRILLO M. *et al.* (2012) demostraron en un ensayo la producción de biomasa y el valor nutricional de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena. Determinando el peso de forraje verde y la composición química (MS, PC, EE, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa, lignina). Trabajaron en tres densidades de siembra, dos especies y dos fechas de cosecha. Los resultados indicaron que la avena en 12 días llega a producir 8 kg/m² de biomasa con 19 % MS, mientras que el trigo en el mismo tiempo produce 7 kg/m² de biomasa con 16.5 % MS. Llegando a la conclusión de que las variables nutricionales consideradas en el presente trabajo permiten concluir que el FVH ofrece condiciones de buena calidad nutritiva. Su contenido en proteína, componentes estructurales, energía metabolizable y parámetros de fermentación ruminal, así como la alta producción de biomasa, le confieren a este tipo de forraje no convencional, características cualitativas deseables para la alimentación animal.

HERRERA. *et al.* (2010) interpretan en un ensayo el efecto del tiempo de cosecha (8, 10 y 12 días después de la germinación) en el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico (FVH) de trigo, a partir de determinaciones de proteína cruda (PC), materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) digestibilidad de materia orgánica (DMO), parámetros de degradabilidad in situ de la MS y PC, así como de la producción de gas in vitro. Los resultados indicaron que la mayor concentración de PC se observó el día 10 (21,49%), mientras que las concentraciones de FDN y FDA incrementaron conforme avanzó el día de cosecha. La degradación de la fracción soluble de la MS fue mayor el día 8 y disminuyó al aumentar el día de la cosecha, mientras que la fracción lentamente degradable aumentó.

2.19 SOLUCIONES NUTRITIVAS

Según HOAGLAND Y ARNON (1950), formularon dos soluciones nutritivas las cuales han sido ampliamente utilizadas, La solución 2 de Hoagland contiene iones amonio como también de nitrato dando como resultado una mejor solución buffer que la 1. La segunda solución fue modificada por (JHONSON *et al.* 1957). La composición de la solución nutritiva, con unos nuevos y pequeños cambios en la composición de los micronutrientes, está en el cuadro 1. Plantas de muchas especies han sido exitosamente desarrolladas en esta solución de Hoagland modificada.

Cuadro 1. Composición de la solución nutritiva de Hoagland.

Solución de Hoagland y Arnon	Macronutrientes	g/l
KNO ₃	Nitrato de potasio	1.02
Ca (NO ₃) ₂	Nitrato de calcio	0,492
NH ₄ H ₂ PO ₄	Sulfato de amonio	0,23
MgSO ₄ 7 H ₂ O	Sulfato de magnesio	0,49
Solución de Hoagland Arnon	Micronutrientes	mg/l
H ₃ BO ₃	Ácido bórico	2,86
MnCl ₂ 4 H ₂ O	Cloruro de manganeso	1,81
CuSO ₄ 5 H ₂ O	Sulfato de cobre	0,08
ZnSO ₄ 7 H ₂ O	Sulfato de zinc	0,22
H ₂ MoO ₄ H ₂ O	Hidróxido de molibdeno	0,09
FeSO ₄ 7 H ₂ O 0,5%	Sulfato de hierro	0,6 ml
0,40%	Ac. Tartárico	1 a 3 veces/semana

Fuente: Hoagland y Arnon 1950.

LA MOLINA. (2013) indica que la solución hidropónica “La Molina” fue formulada después de varios años de investigación en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Con el propósito de difundir la hidroponía con fines sociales, se eligieron para su preparación, fertilizantes que se pueden

conseguir con facilidad en las diferentes provincias del Perú. En hidroponía es común la aplicación de dos soluciones concentradas, denominadas A y B. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fórmula de solución hidropónica La Molina.

Solución Concentrada A: (para 5.0 litros de agua, volumen final)	Pesos
Nitrato de potasio	550.0 g
Nitrato de amonio	350.0 g
Superfosfato triple	180.0 g
Solución Concentrada B: (para 2.0 litros de agua, volumen final)	Pesos
Sulfato de magnesio	220.0 g
Quelato de hierro 6% Fe	17.0 g
Solución de Micronutrientes	400 ml
Solución Micronutrientes: (para 1.0 litro de agua destilada o hervida)	Pesos
Sulfato de Manganeso	5.0 g
Ácido Bórico	3.0 g
Sulfato de Zinc	1.7 g
Sulfato de Cobre	1.0 g
Molibdato de Amonio	0.2 g

Fuente: UNALM 2013.

FAO (2003) afirma que existen varias fórmulas para preparar nutrientes que han sido usadas en distintos países. Una forma de preparar una solución concentrada probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe en más de 30 especies de hortalizas, plantas ornamentales y plantas medicinales, comprende la preparación de dos soluciones madres concentradas, las que se llamarán solución concentrada A y solución concentrada B. La solución concentrada A aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayores proporciones. La solución concentrada B aporta, en cambio, los elementos que son requeridos en menores proporciones, pero esenciales para que la planta pueda desarrollar normalmente los procesos fisiológicos que harán que llegue a crecer bien y a producir abundantes cosechas (cuadro 3).

Cuadro 3. Fórmula de solución hidropónica FAO

Elementos solución A	Concentración/4 litros
Fosfato mono amónico 12-60-0	340 gramos
Nitrato de calcio	2080 gramos
Nitrato de potasio	1100 gramos
Elementos solución B	Concentración/4 litros
Sulfato de magnesio	492 gramos
Sulfato de cobre	0,48 gramos
Sulfato de manganeso	2,48 gramos
Sulfato de zinc	1,20 gramos
Ácido bórico	6,20 gramos
Molibdato de amonio	0,02 gramos
Quelato de hierro	50 gramos

Fuente: FAO 2003.

2.20 FÓRMULAS PARA ESTIMAR DIGESTIBILIDAD Y DEGRADABILIDAD

2.20.1 Digestibilidad en las heces (%)

Según BONDI (1989), para obtener el % de digestibilidad en las heces ésta es normalmente representada por un coeficiente de digestibilidad, expresado en forma porcentual que se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$CDR (\%) = \frac{\text{Alimento ingerido} - (\text{Materiales fecales} - \text{Productos endógenos})}{\text{Alimento ingerido}} \times 100$

CAÑAS R. (1995) reporta la siguiente fórmula para calcular la digestibilidad de un nutriente.

Coeficiente de digestibilidad (%) = $[(NI - NH) / NI] \times 100$ Donde:

NI = Nutriente ingerido

NH = Nutriente en heces

LASCANO *et al*, (1990) reportan que para el cálculo de la digestibilidad con marcadores, según la técnica de las proporciones, se han descrito algunas fórmulas, en función de la relación de las concentraciones de los nutrientes y el marcador, tanto en la ración como en las heces. En el caso de la digestibilidad de la MS y cualquier otro nutriente se han propuesto la siguiente fórmula:

$DMS \% = (CMF/CMH) \times 100$ Donde:

CMF = Concentración del marcador en el forraje (%)

CMH = Concentración del marcador en las heces (%)

2.20.2 Porcentaje de materia seca (%)

ELLIOT BLOCK (2012) considera que la fórmula para calcular la materia seca es:

$\% \text{ de materia seca} = 100 - [(\text{peso inicial} - \text{peso en seco}) / \text{peso inicial}] \times 100$

Según FRANCO L. *et al* (2012), para calcular el porcentaje de materia seca del forraje de los puntos de la escala se usa la fórmula siguiente:

$MS (\%) = \text{peso seco de la submuestra} / \text{peso verde de la submuestra} \times 100$

2.20.3 Materia orgánica (%)

WATTIAUX M. (2001) dice que la materia orgánica se calcula como la diferencia entre el contenido en materia seca del alimento y el contenido en cenizas.

$MO (\%) = MSA - CENIZAS$

Según GARCIA A. (2010), la materia orgánica se calcula de la siguiente manera: $100 - \text{cenizas} = \text{materia orgánica}$.

2.20.4 Degradabilidad efectiva de la proteína

Según ORSKOV y Mc DONALD (1979), citado por LIMA R (2011), la proteína verdadera se calcula de la siguiente manera:

$ERD = a + b * kf / (k_f + k_p)$ donde:

(a) es la fracción soluble, (b) es la fracción potencialmente degradable y (kf) es la tasa de degradación en horas(h) y (k_p) es la tasa de pasaje en el rumen (constante que equivale a 0.03 por hora).

2.20.5 Degradabilidad efectiva de la proteína, materia seca y orgánica

ORSKOV y Mc DONALD (1979), citado por LIMA. R. (2011), afirman que la degradabilidad efectiva de la proteína, materia seca y orgánica se calcula de la siguiente manera:

$D=a+b(1-\exp^{-k_f t})$ donde:

(t) es el tiempo en horas (h), (a) es la fracción soluble, (b) es la fracción potencialmente degradable y (kf) es la tasa de degradación en horas (h)

2.21 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS

La digestibilidad depende mayormente de la composición nutritiva de la ración en estudio, siendo a su vez afectada por el hecho de que las heces contienen cantidades importantes de materiales de origen no dietético (MERCHEN, 1993)

Los valores estimados de digestibilidad aparente de las fracciones correspondientes a proteínas y lípidos, sin incluir los aportes de compuestos endógenos de la misma naturaleza, son siempre menores a los coeficientes de digestibilidad verdadera. Por lo que un dato de gran utilidad al trabajar con rumiantes es que el aporte de nitrógeno endógeno se encuentra alrededor de 0,5 a 0,6 g por 100 g de materia seca consumida (aproximadamente un 4 % de la proteína de la ración), por lo que los coeficientes de digestibilidad aparente en raciones con un contenido de proteína inferior al 4%, son negativos (BONDI, 1989)

La digestibilidad verdadera es un aspecto importante en la utilización de los nutrientes, ya que los residuos no digeridos y las excreciones fecales asociadas con la digestión son la única pérdida de mayor relevancia en la utilización de los alimentos, llegando a ser cercano al 40% (CHURCH D. 1974).

2.22 MÉTODO DE COLECCIÓN TOTAL DE HECES

Este método incluye la medición de la ingestión de una determinada ración de composición conocida y la colecta total de la excreción fecal correspondiente al alimento consumido. Las muestras del material ofrecido, al igual que las del rechazado, cuando se proporciona alimento *ad libitum*, muestras de las heces, son analizadas en el laboratorio, para controlar el balance de nutrientes ingeridos y excretados, como base de la determinación de la digestibilidad de los nutrientes en estudio (BONDI, 1989)

2.23 REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DE LAS CABRAS

Según MENESES R. (sf, en línea), el requerimiento nutricional de las cabras para mantenimiento se presenta de la siguiente manera (cuadro 4)

Cuadro 4. Requerimiento nutricional de mantenimiento en cabras

Requerimiento nutricional de mantenimiento en cabras				
Peso (Kg)	Proteína cruda (g)	Energía digestible (Mcal)	Calcio (g)	Fósforo (g)
30	62	1,99	2	1,4
40	77	2,47	3	2,1
50	91	2,92	4	2,8
60	105	3,35	4	2,8

Fuente: NRC, 1981.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL ENSAYO

El trabajo se realizó en la comuna San Marcos, en la finca La Sevilla propiedad del Sr. César Mirabá Pozo, cantón y provincia de Santa Elena. Las coordenadas geográficas son: 05° 41' 54'' de latitud Sur y 97° 77' 35'' de longitud Oeste, con condiciones meteorológicas de 100 mm/año de precipitación, temperatura media 24 °C, humedad relativa 83 % y una altura de 13 msnm (INAMHI, 2014).

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 Materiales de campo:

- Corral
- Excavadora
- Caña
- Madera
- Machete
- Clavos
- Alambre
- Grapas
- Plástico negro de polietileno
- Flexómetro
- Cloro
- Cronómetro
- Peachímetro
- Baldes de plástico
- Bandejas germinadoras
- Estantes
- Manguera
- Cámara fotográfica

- Papel
- Lápiz
- Letreros
- Libreta de apuntes

3.2.2 Materiales para fistulación:

- Pinzas hemostáticas
- Tijeras de disección
- Bisturí
- Mango de bisturí
- Lidocaína
- Fístulas
- Lubricante
- Hilo quirúrgico
- Máquina depiladora
- Alcohol
- Cicatrizante
- Gasa
- Yodo
- Sulfato de Atropina
- Maxín
- Anti inflamatorios
- Ketamina
- Guantes
- Jeringuillas
- Matagusanos
- Fórmula 62

3.2.3 Materiales para investigación:

- FVH de maíz
- Soluciones nutritivas (Hoagland, FAO, La Molina)

- Fundas de poliseda (Nylon) 45-50 micras
- Cadena de 1/16
- Jaulas metabólicas
- Fundas de recolección de heces
- Computadora

3.2.4 Equipos:

- Bombas de mochila cap. 20 L
- Termómetro hidrométrico
- Balanza digital
- Balanza analítica
- Molino
- Estufa

3.3. MATERIAL BIOLÓGICO

3.3.1 Maíz agri 104

TROPICALCIS (2009) publica las características agronómicas del maíz AGRI 104 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características agronómicas del Maíz AGRI 104.

Variables	Descripción
Emergencia a cosecha	120 días
Altura de planta	201 cm
Peso de mazorca	256 gr
Longitud de mazorca	18.41 cm
Resistencia al acame del tallo	Excelente
Nivel de tolerancia a la enfermedad	Excelente
Color de grano	Anaranjado

Fuente: Interoc custer: www.interoc.com.ec

3.3.2 Cabras criollas

Cuatro caprinos criollos (*Capra hircus*) fistulados y cuatro no fistulados que sirvieron para determinar la cinética de degradación de la MS, MO y PC del forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) (*in situ*) Orskov *et al.* (1980); y la digestibilidad (*in vivo*) (Bondi, 1989) respectivamente.

3.3.2.1. Características

Según ECURED (sf, en línea) las características de las cabras criollas son las siguientes:

- **Cabeza:** pequeña, provista de cuernos en ambos sexos, que se extienden hacia atrás y arriba.
- **Orejas:** Pequeñas o medianas, erguidas y en posición horizontal. Pero las mestizas de Nubia las tienen larga. Los machos presentan barba, no así las hembras.
- **Piel:** Fina, pigmentada en diferentes colores.
- **Patas:** cortas y fuertes.
- **Talla y peso:** La altura a la cruz es de 65-75 cm y el peso de 35-40 kg las hembras y 40-45 kg los machos.
- **Ubre:** Pequeña, globosa, con buena implantación y pezones cortos.

Otras características:

- **Color:** Son de color negro o café y son frecuentes las manchas blancas.
- **Pelaje:** Delgado y corto, en los machos es áspero y muy desarrollado.

3.4. EXPERIMENTO 1

3.4.1 Tratamientos y diseño experimental

Cinética de degradación de FVH de maíz con tres soluciones nutritivas en cabras criollas fistuladas.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por un caprino fistulado dando

un total de 12 unidades experimentales. Cabe mencionar que se utilizó el método Cross over (Arnau J. y Viader M. sf, en línea) que consiste en utilizar a los mismos animales como repeticiones para los diferentes tratamientos. Es decir, cada animal evalúa cada dieta de forma independiente, y los resultados se los analiza en un diseño completamente al azar.

3.4.2 Análisis estadístico

El análisis de la varianza se detalla en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis de la varianza del experimento.

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	t-1	2
Error	t (r-1)	9
Total	tr-1	11

3.4.3 Manejo del experimento

3.4.3.1 Elaboración de dietas experimentales

Se utilizó el FVHM a los 12 días de edad, ya que este alimento cubría el requerimiento nutricional de mantenimiento diario de las cabras en estudio sin necesidad de adicionar otro ingrediente, estos forrajes fueron evaluados mediante la técnica *in situ*. (Cuadro 7).

Cuadro 7. Dietas experimentales

Dietas	Solución FAO	Solución HOAGLAND	Solución LA MOLINA
FVH de maíz 1 (12 días)	1	-	-
FVH de maíz 2 (12 días)	-	1	-
FVH de maíz 3 (12 días)	-	-	1

Cuadro 8. Nutrientes calculados en dietas experimentales con FVHM.

Nutrientes	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Proteína	52,5 gr PC	52,5 gr PC	52,5 gr PC
E.M	2400 Mcal.	2400 Mcal.	2400 Mcal.
Fibra	14 %	14,2 %	14,1 %
Grasa	4.1 %	3,9 %	3,9 %

Se suministró 1 875 gr de FVHM/animal/día dando un requerimiento de 52,5 gr de PC/animal/día (cuadro 8).

3.4.3.2 Selección de cabras

Se seleccionaron 4 cabras criollas que presentaron uniformidad en relación al peso, tamaño y edad.

3.4.3.3 Fistulación de caprinos

Los animales tuvieron un ayuno previo de 24 horas, con la finalidad de disminuir la sobrecarga en el rumen y así mantener al animal en un estado tranquilo y evitar presencia de contenido ruminal al momento de la cirugía.

3.4.3.4 Fase operatoria

El área de intervención quirúrgica fue desinfectada con solución de alcohol y povidona yodada. La zona de abordaje (punto central del triángulo del flanco izquierdo, formado por el último arco costal, el extremo de las apófisis transversas de la parte lumbar de la columna y la parte anterior de la pelvis), se marca en el lugar exacto de la fistulación con la cánula, se aplica ketamina 3 mg/kg de peso vivo (5 ml vía intravenosa), atropina 0,5 ml/10 kg de peso vivo (2 ml vía intramuscular), lidocaína 1 mg/kg-0.05 ml/kg vía local (20 ml vía epidural) para inmovilizar y anestesiarse al animal.

Los animales fueron operados en la posición de decúbito lateral derecho sobre una mesa. Una vez logrado el nivel de inconsciencia y analgesia local deseada, se procedió a

incindir la piel con bisturí en forma de círculo de 10 cm de diámetro aproximadamente, removiendo el trozo de piel, para luego abrir los planos musculares abdominales correspondientes (oblicuo abdominal externo, oblicuo abdominal interno, transverso del abdomen) y la fascia transversa empleando disección roma con tijeras. Exponiendo el peritoneo, se procedió a su abertura, pinzando los extremos de él para facilitar su sutura durante la fase de síntesis de la pared abdominal. Para fijar el compartimento (rumen) a la piel en su posición definitiva, se realizó una sutura no perforante empleando hilo de sutura con puntos en "U" que traspasaban piel, peritoneo y pared del compartimento 1 (comprometiendo peritoneo visceral y musculatura, sin entrar a la mucosa), para luego salir atravesando peritoneo y piel nuevamente.

En este momento se suturan todos los vasos sanguíneos que sangran hasta estar seguro que no exista ni un solo sangrado. Finalmente se suturan los músculos internos y la piel del animal.

La operación se realizó utilizando todas las normas de bioseguridad.

3.4.3.5 Fase postoperatoria

Una vez terminada la operación se procedió a inyectar antibióticos y cicatrizantes, se colocó a los animales en un lugar seco, con paja seca, hasta que se despertaron de la anestesia y a las 4 horas siguientes se los alimentó con pasto fresco de buena calidad. Se mantuvo controlado a los animales durante la primera semana para evitar sobre carga en el rumen y se observó diariamente durante el proceso de cicatrización.

3.4.3.6 Suministro de dietas

Cada dieta fue enviada al laboratorio para su respectivo análisis bromatológico (antes y después).

Se evaluó la cinética de degradación de las dietas experimentales (caprinos fistulados) de la siguiente manera:

- Se introdujeron a los caprinos en los corrales destinados a investigación.

- Se adaptaron a los animales al consumo voluntario de las dietas experimentales durante 14 días, luego se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1mm, se pesaron 5 gr de la muestra y se introdujeron al rumen en bolsas de polyseda de 45 – 50 micras de porosidad para determinar su degradación a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas.
- Se enviaron las muestras del sobrante de las bolsas al laboratorio para determinar MS, MO y PC.

3.4.3.7 Variables experimentales

3.4.3.7.1 Cinética de degradación de MS, MO y PC de las dietas experimentales

- Cinética de degradación de MS
- Cinética de degradación de MO
- Cinética de degradación de PC

Las muestras fueron retiradas del rumen y lavadas hasta lograr cristalinidad en el agua. Se mantienen en la estufa a 65°C por 48 h y luego se realizaron análisis bromatológicos para determinar el % de MS, MO y PC en los tiempos descritos anteriormente, para determinar la cinética de degradación de cada nutriente.

3.5 EXPERIMENTO 2

3.5.1 Tratamientos y diseño experimental

Digestibilidad del FVHM en cabras criollas, método *in vivo*.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por un caprino criollo dando un total de 12 unidades experimentales. Se utilizó el método Cross over (Arnau J. y Viader M. sf, en línea) descrito en el experimento 1.

3.5.2 Análisis estadístico

El análisis de la varianza se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de la varianza del experimento 2.

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	t-1	2
Error	t (r-1)	9
Total	tr-1	11

3.5.3 Manejo del experimento

3.5.3.1 Dietas experimentales

Se evaluaron mediante la técnica de digestibilidad *in vivo*. (BONDI, 1989)

3.5.3.2 Suministro de dietas

Se evaluó la digestibilidad del FVHM mediante la técnica *in vivo* de la siguiente manera:

- Se introdujeron a los caprinos a las jaulas metabólicas y se les colocó el arnés con dispositivos para recolección de heces.
- Se adaptaron a los animales al consumo voluntario del FVHM durante 14 días, luego se tomaron los datos de recolección de heces durante los 7 días posteriores.
- Se enviaron las muestras al laboratorio y se determinó la digestibilidad de la MS, MO y PC verdadera.

3.5.3.3 Selección de cabras

Se seleccionaron 4 cabras criollas que presentaron uniformidad en relación al peso, tamaño y edad.

3.5.3.4 Variables experimentales

3.5.3.4.1 Digestibilidad de la MS, MO y PC de dietas experimentales

- Digestibilidad verdadera de la MS

- Digestibilidad verdadera de la MO
- Digestibilidad verdadera de la PC

A cada muestra se la sometió a un análisis de laboratorio para determinar MS, MO y PC, respectivamente para determinar la digestibilidad *in vivo* del FVHM.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO 1

4.1.1 Cinética de degradación de la materia seca

En el Cuadro 10 y Figura 1 se presenta la cinética de degradación de la materia seca del forraje verde hidropónico de maíz, cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 10. Cinética de degradación de la MS del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cinética de degradación de MS (%)								
Solución	Tiempos (h)							
	0	3	6	9	12	24	48	72
FAO	44,50	49,73	56,71	62,95	68,55	83,32	95,67 ^a	98,91
Hoagland	44,90	49,52	56,42	62,37	67,98	83,53	95,71 ^a	98,95
La Molina	42,74	50,32	57,05	63,34	69,05	84,74	96,28 ^b	99,06
CV (%)	11,92	3,79	5,79	4,73	2,12	2,12	0,2	0,08

Letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,05$)

La cinética de degradación de la materia seca del FVHM no presentó diferencias estadísticas significativas a las 0, 3, 6, 9, 12, 24 y 72 horas ($p \leq 0,05$), a excepción de las 48 h donde se obtuvo dos grupos estadísticos ($p \leq 0,05$) entre las soluciones estudiadas, es decir la solución FAO y Hoagland son iguales (95,67 y 95,71%) diferenciándose de La Molina (96,28%). Es necesario indicar que a las 72 h el porcentaje de degradación es alto en todos los tratamientos lográndose un 99,06% de degradabilidad con la solución La Molina; 98,95 con Hoagland y 98,91% con FAO, respectivamente.

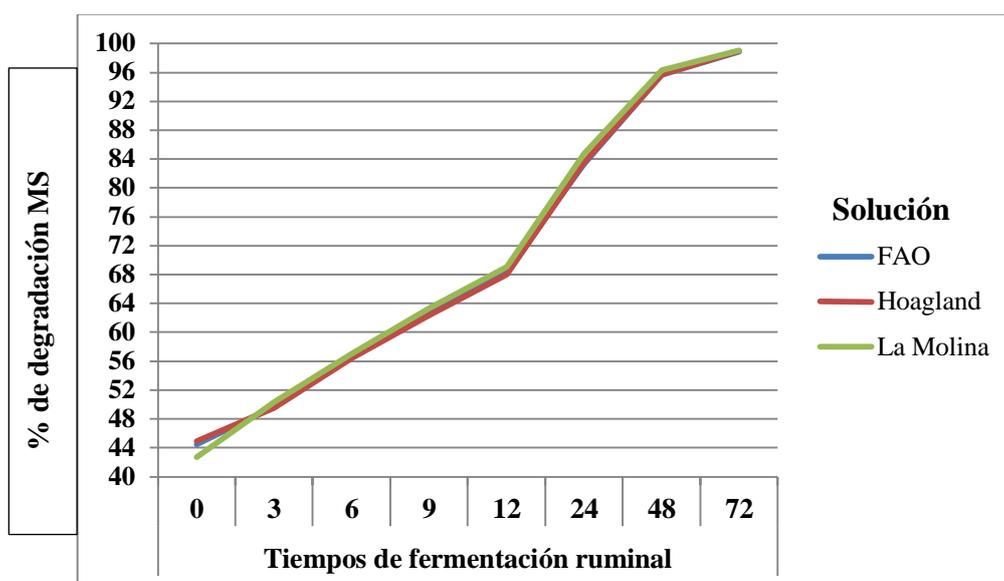


Figura 1. Cinética de degradación de la MS del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Los valores obtenidos en esta investigación son diferentes a los encontrados por Herrera A. *et al.* 2007 quienes evaluaron la degradación ruminal de la MS del FVHM cultivado bajo sustrato de cascarilla de arroz y suministrado a los animales con todo su contenido obteniendo valores entre 15,4% a las 3 h y 42,2% a las 48 h, valores muy bajos debido al suministro de lignina producto de la cascarilla de arroz. Por otra parte Herrera E. *et al.* 2010 evaluaron la degradabilidad de la MS del FVH de trigo cosechado a los 8, 10 y 12 días logrando a las 96 horas de incubación ruminal valores de 87,2; 76,5 y 66,8% a los 8, 10 y 12 días, respectivamente, esto demuestra que a mayor edad de los pastos menor es el porcentaje de degradabilidad. Así mismo Cerrillo M. *et al.* 2012 realizaron trabajos con FVH de trigo y avena cosechados a 10 y 12 días, presentando valores de 81,4 y 69,1% a los 10 días y 77,5 y 66,6% a los 12 días a las 24 h de fermentación ruminal, respectivamente, diferentes a los reportados en este trabajo que alcanzó valores de 84,74% en el mismo tiempo. En otras investigaciones, Boschini C. 2001 publicó valores de 96,27% de degradabilidad ruminal a las 24 h de fermentación utilizando hojas de maíz a 37 días de edad, resultados superiores a los de esta investigación; y hojas, tallo y planta entera de morera (*Morus alba*) obteniendo valores de 77,79; 56,51 y 69,64% a las 72 h y 56 días de edad, respectivamente. Navarro C. *et al* 2011, publicaron valores de degradación ruminal de la MS de 48,8 y 36,58% a las 72 h, utilizando

Brachiaria decumbens y *Penisetum purpureum* a los 60 días de edad. Trujillo A. *et al.* 2009 evaluaron la degradabilidad ruminal de la MS de lotus obteniendo valores de 70,2% a las 48 horas de fermentación. Razz R. *et al.* 2004 publicaron valores de degradabilidad ruminal de 71,45 y 73,72% a las 72 h, utilizando leucaena y *Panicum maximum* a los 42 días de edad. Vergara J. y Araujo O. 2006 evaluaron la degradabilidad ruminal de la MS del pasto *Brachiaria humidicola* obteniendo valores de 75,24% a las 72 horas de fermentación. Caro F. y Correa H 2006 evaluaron la degradabilidad ruminal de la MS del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a los 32 días de edad obteniendo valores de 59,4% a las 24 horas de fermentación, todos estos valores son inferiores a los obtenidos en este trabajo.

4.1.2 Cinética de degradación de la materia orgánica

En el Cuadro 11 y Figura 2 se presenta la cinética de degradación de la materia orgánica del forraje verde hidropónico de maíz, cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 11. Cinética de degradación de la MO del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cinética de degradación de MO (%)								
Solución	Tiempos (h)							
	0	3	6	9	12	24	48	72
FAO	41,64 ^a	52,18 ^a	52,18 ^b	67,07 ^a	70,94 ^a	79,43 ^a	90,51 ^a	95,43 ^a
Hoagland	46,82 ^a	58,77 ^a	58,70 ^a	65,27 ^a	72,49 ^a	78,43 ^a	86,39 ^a	95,98 ^a
La Molina	34,92 ^b	43,79 ^b	43,79 ^c	59,24 ^b	62,7 ^b	70,98 ^b	72,34 ^b	90,16 ^b
CV (%)	18,85	3,68	10,97	6,44	2,17	2,79	6,7	3,19

Letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,05$)

El análisis de la varianza de los tratamientos determinó que existieron dos grupos estadísticos en los tiempos 0, 3, 9, 12, 24, 48 y 72 h, es decir la solución FAO y Hoagland fueron iguales, diferenciándose de La Molina que durante toda la

investigación la degradabilidad de la MO fue inferior ($p \leq 0.05$). En el tiempo 6 h, todos los tratamientos fueron diferentes ($p \leq 0.05$) con valores de 58,70; 52,18 y 43,79% para Hoagland, FAO y La Molina, respectivamente. Es necesario indicar que a las 72 h el porcentaje de degradación de la MO es muy alto en todos los tratamientos lográndose 95,98; 95,43 y 90,16% con Hoagland, FAO y La Molina, respectivamente.

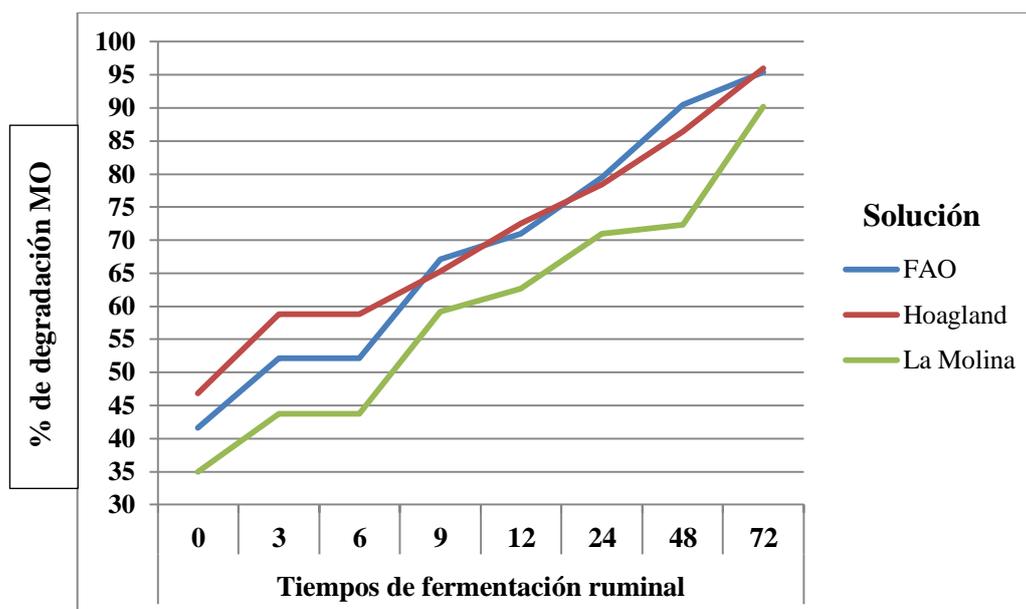


Figura 2. Cinética de degradación de la MO del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Los valores obtenidos son similares a los encontrados por Cerrillo M. *et al*, 2012 quienes estimaron la degradación ruminal de la MO del FVH de trigo y avena cosechados a 10 y 12 días, presentando valores de 83,1 y 71,2% a los 10 días; y 77,7 y 69,5% a los 12 días a las 48 h de fermentación ruminal, respectivamente. Por otra parte Lima R. *et al*. 2011, evaluaron la degradabilidad de la MO del forraje fresco mezclando sorgo y soya logrando a las 72 horas de incubación ruminal valores de 63% y ensilado de sorgo y soya obteniendo valores de 71%. diferentes a los reportados en este trabajo. En otras investigaciones Jarquín J y Rocha J 2013 evaluaron la degradabilidad de la MO del forraje de marango (*Moringa oleifera*) a 45, 60 y 75 días de edad logrando a 120 horas de incubación ruminal valores de 76,56; 66,81 y 69,33%, respectivamente, diferentes a los reportados en este trabajo que se alcanzaron valores de 95,98%. Gómez J. *et al*. 2013 evaluaron la degradabilidad de la MO del cultivo de ceta (*Agaricus*

bisporus) a 96 horas de incubación ruminal obteniendo valores de 31%, siendo muy inferiores a los reportados en este trabajo.

4.1.3 Cinética de degradación de la proteína cruda

En el Cuadro 12 y Figura 3 se presenta la cinética de degradación de la proteína cruda del forraje verde hidropónico de maíz, cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 12. Cinética de degradación de la PC del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cinética de degradación de PC (%)								
Solución	Tiempo (h)							
	0	3	6	9	12	24	48	72
FAO	84,33	87,49	90,2	91,98	93,67	97,19	99,46	99,89
Hoagland	85,56	87,99	90,81	92,63	94,12	97,19	99,44	99,88
La Molina	84,89	87,69	89,93	91,72	93,38	97,13	99,39	99,88
CV (%)	2,56	0,97	0,87	0,77	0,43	0,32	0,08	0,02

Letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,05$)

El análisis de la varianza determinó que la cinética de degradación de la proteína cruda no presentó diferencias estadísticas significativas a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas en ninguno de los tratamientos ($p \leq 0,05$). Es necesario indicar que a las 72 h el porcentaje de degradación de la PC es muy alto en todos los tratamientos lográndose 99,89% para la solución FAO y 99,88% para Hoagland y La Molina, respectivamente.

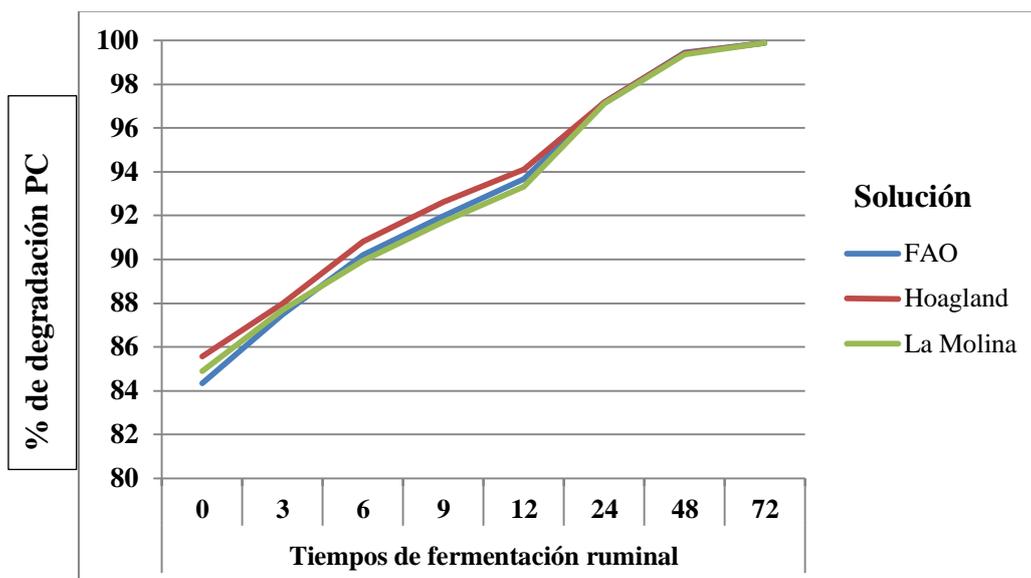


Figura 1. Cinética de degradación de la PC del FVHM cultivado a los 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Los valores obtenidos son diferentes a los encontrados por Herrera E. *et al*, 2010 quienes evaluaron la degradación ruminal de la PC del FVH de trigo cosechado a los 8, 10 y 12 días logrando a las 96 horas valores de 80,5; 79,0 y 76,0% a los 8, 10 y 12 días, respectivamente, esto demuestra que a medida que aumenta la edad del forraje menor es el porcentaje de degradabilidad. Por otra parte Cerrillo M. *et al*, 2012 realizaron trabajos con FVH de trigo y avena cosechados a 10 y 12 días, presentando valores de 87,7 y 91,3% a los 10 días; y 84,5 y 93,5% a los 12 días a las 24 horas de fermentación ruminal, respectivamente, diferentes a los reportados en este trabajo que alcanzaron valores de 97,19%. Navarro C. *et al*, 2011 publicaron valores de degradación ruminal de la PC de 70,08 y 55,73% a las 72 horas de fermentación ruminal, utilizando *Brachiaria decumbens* y *Penisetum purpureum* a los 60 días de edad, respectivamente, valores muy inferiores a los obtenidos en este trabajo. Vergara J y Araujo O 2006 publicaron valores de degradación ruminal de la PC de 61,91% a las 72 horas de fermentación ruminal, utilizando *Brachiaria humidicola* a los 60 días de edad, respectivamente, valores diferentes a los obtenidos en este trabajo.

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO 2

4.2.1 Digestibilidad verdadera de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC).

En el Cuadro 13 se presenta la digestibilidad verdadera de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) del forraje verde hidropónico de maíz (FVHM), cultivado a 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

Cuadro 13. Digestibilidad verdadera de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) del FVHM con diferentes soluciones nutritivas.

Solución	Digestibilidad verdadera (%)		
	MS	MO	PC
FAO	93,07 ^a	84.73 ^a	80.28 ^a
Hoagland	85,42 ^b	84,96 ^a	80,11 ^a
La Molina	78,71 ^c	81,16 ^b	77,73 ^b
CV (%)	2,70	0,99	1,19

Letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,05$)

El análisis de la varianza de los tratamientos determinó que la digestibilidad *in vivo* de la MS presentó diferencias estadísticas significativas entre las soluciones estudiadas. Se evidenciaron tres grupos estadísticos con valores de 93,07; 85,42 y 78,71% para FAO, Hoagland y La Molina, respectivamente, ($p \leq 0.05$). Estos resultados son muy similares a los reportados por Fuentes J. *et al.* 2008 quienes realizaron trabajos de DIVMS del FVH de alfalfa utilizando agua, algaenzimas y lombricomposta obteniendo valores de 83,2; 86,43 y 84,36%. Gerardo A. *et al.* sf. determinaron la digestibilidad de la MS del forraje natural en praderas obteniendo valores de 70,5% resultado similar al encontrado con la solución nutritiva La Molina. Por otra parte Lara P. *et al.* 2009 realizaron la DIVMS utilizando maíz molido obteniendo valores de 95,85%, similar al encontrado con la solución FAO. Sánchez D. *et al.* 2005 realizaron la DIVMS utilizando pasto *Brachiaria*

decumbens obteniendo valores de 83,76%, similar al encontrado con la solución Hoagland.

Así mismo, Herrera A. *et al.* 2007 evaluaron la digestibilidad de la MS del FVHM cultivado bajo sustrato de cascarilla de arroz y suministrado a los animales con todo su contenido llegando a valores de 55,9%; se asume que por la utilización de cascarilla de arroz y su alto contenido de lignina hace que el forraje sea poco digestible; Por otra parte Pérez A. 2013 realizó la DIVMS del FVHM obteniendo valores de 67,75 y 61,41%; y, DIVMS del sorgo con valores 53,53 y 57,21% utilizando ácido húmico y agua (testigo), respectivamente. En otras investigaciones, Camero A. 2008 efectuó la DIVMS del FVHM cosechado a los 8, 12 y 16 días obteniendo valores de 69,27; 65,40 y 62,53%, respectivamente. Navarro C. *et al.* 2011 publicaron valores de digestibilidad de la MS del pasto amargo (*Brachiaria decumbens*) y pasto kinggrass (*Pennisetum purpureum*) alcanzando valores de 50,31 y 44,25%. Caro F. y Correa H. 2006 publicaron la digestibilidad de MS del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a los 32 días de rebrote obteniendo valores de 30,40%. Todas estas investigaciones lograron valores muy inferiores a los reportados en este trabajo.

El análisis de la varianza de los tratamientos determinó que la digestibilidad *in vivo* de la MO presentó diferencias estadísticas significativas entre las soluciones estudiadas. Se evidenciaron dos grupos estadísticos con valores de 84,96% (Hoagland); 84,73% (FAO) y 81,16% (La Molina), respectivamente, ($p \leq 0.05$). Estos son similares a los encontrados por Herrera E. *et al.* 2010 quienes evaluaron la DIVMO del FVH de trigo encontrando valores de 84,2 y 81,5% a los 8 y 10 días, respectivamente. Así mismo Lara P. *et al.* 2009 realizaron la DIVMO utilizando maíz molido obteniendo valores de 99,31%, superior a los encontrados en esta investigación. Por otra parte Lima R. *et al.* 2011, evaluaron la digestibilidad de la MO del forraje fresco mezclando sorgo y soya logrando valores de 66% y ensilado de sorgo y soya obteniendo valores de 74%. inferiores a los reportados en este trabajo.

El análisis de la varianza de los tratamientos determinó que la digestibilidad *in vivo* de la PC presentó diferencias estadísticas significativas entre las soluciones estudiadas. Se

evidenciaron dos grupos estadísticos con valores de 80,28 (FAO); 80,11% (Hoagland); y 77,73% (La Molina), respectivamente, ($p \leq 0.05$). Estos son inferiores a los encontrados por Fuentes J. *et al.* 2008 que evaluaron la DIVPC del FVH de alfalfa utilizando agua, algaenzimas y lombricomposta obteniendo valores de 89,25; 89,37 y 88,69%, respectivamente. Por otra parte Navarro C. *et al.* 2011 publicaron valores de digestibilidad de la PC del pasto amargo (*Brachiaria decumbens*) con 76,55% similar a la solución La Molina y pasto kingrass (*Pennisetum purpureum*) con 56,21% inferior a los obtenidos en este trabajo. Así mismo Lima R. *et al.* 2011, evaluaron la digestibilidad de la PC del forraje fresco mezclando sorgo y soya logrando valores de 61% y ensilado de sorgo y soya con 72%, inferiores a los reportados en este trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La cinética de degradabilidad de la materia seca (MS) del FVHM confirma la desaparición de nutrientes a medida que pasa el tiempo (0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas), manteniendo un nivel de desaparición de 99,06% (La Molina); 98,95% (Hoagland) y 98,91% (FAO) a las 72 horas de fermentación ruminal, respectivamente.
- La cinética de degradabilidad de la materia orgánica (MO) del FVHM alcanzó valores de 95,43% (FAO); 95,98% (Hoagland) y 90,16% (La Molina) a las 72 horas de incubación ruminal, respectivamente. garantizando la buena degradabilidad entre los tratamientos.
- La cinética de degradabilidad de la proteína cruda (PC) del FVHM alcanzó valores de 99,89% (FAO); 99,88% (Hoagland y La Molina) a las 72 horas de fermentación ruminal respectivamente.
- La digestibilidad de la materia seca (MS) del FVHM alcanzó niveles de 93,07% (FAO); 85,42% (Hoagland) y 78,71% (La Molina), respectivamente. concluyendo que son valores muy superiores a los encontrados en investigaciones consultadas y discutidas en este documento, evidenciando la calidad nutricional de este alimento.
- La digestibilidad de la materia orgánica (MO) fue de 84,96% (Hoagland); 84,73% (FAO) y 81,16% (La Molina), respectivamente. El FVHM por ser un pasto tierno (12 días de edad) posee altos niveles de digestibilidad, concordando con publicaciones científicas publicadas en revistas de alto impacto.
- La digestibilidad de la proteína verdadera (PV) fue de 80,28% (FAO); 80,11% (Hoagland) y 77,73% (La Molina), respectivamente. Manifestando estándares de

calidad nutricional excelente, ya que comparada con otros alimentos supera grandemente las cifras.

- El forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) cultivado con tres soluciones nutritivas alcanzaron niveles superiores a los encontrados en otras investigaciones, por lo tanto se afirma que las tres soluciones nutritivas son útiles, sin alterar la digestibilidad y degradabilidad de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC), por lo que se acepta la hipótesis planteada.

RECOMENDACIONES

- Repetir nuevas investigaciones en otros ambientes, cuya principal actividad productiva sea el ganado caprino.
- Probar otras especies forrajeras como sorgo, cebada, trigo, avena o alfalfa utilizando los métodos considerados en esta investigación.
- Utilizar la técnica *in vitro* como método de comparación de resultados con la *in vivo* e *in situ*.
- Para la producción de FVH se debe tener semillas de buena calidad para alcanzar óptimos rendimientos.

BIBLIOGRAFÍA

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST, 1960. Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemist, 9th edition, 832 p. Washington (USA).

ADUM M. sf. HIDROPONÍA PARA ESTABULACIÓN DE CABRAS. Opciones Agropecuarias 3. Cámara de agricultura de II zona. Dirección: La Garzota- Av Guillermo Pareja Rolando No 561- Edificio de bronce 2 do Piso.

ATKINSON RL, TOONE, CD, LUDDEN, PA. 2010. Effects of ruminal protein degradability and frequency of supplementation on site and extent of digestion and ruminal fermentation characteristics in lambs fed low quality forage. J. Anim. Sci. 88: 718-726 pág.

ARNAU J Y VIADER M. sf. Diseños cross-over (alternativos): Aspectos metodológicos y analíticos. Consultado 7 de enero del 2015. Disponible en http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/articles/qurriculum/qurriculum1/qr1disenyo_scrossover.pdf.

ALLISON C.D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. range manage.* 38:305 pág.

ANA MARÍA HERRERA ANGULO. *et al.* 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje Hidropónico de Maíz (*Zea Mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. Universidad del Zulia, Facultad de Veterinaria, Dpto. de Producción e Industria Animal, Estado Zulia. Venezuela. Revista Científica. Versión impresa ISSN 0798-2259.

BONDI A. 1988. Nutrición animal. 1^oed. Ed. Acribia, Zaragoza. 109-120,293-305 pág.

BONDI, A. A. 1989. Nutrición Animal. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 546 pág.

- BOSCHINI C. 2001. Degradabilidad ruminal de la planta de maíz forrajero en diferentes edades de crecimiento. *Agronomía mesoamericana* 12(1): 89-93 pág.
- BOSCHINI C. 2001. Degradabilidad *in situ* de la materia seca, proteína y fibra de morera (*Morus alba*). *Agronomía mesoamericana* 12(1): 79-87 pág.
- CASTRO A. 2014. Principios de alimentación de las cabras. Ministerio de agricultura y ganadería. Consultado el 20 de febrero de 2015. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/cabra_alimentacion.html.
- CAMERO A. 2008. Evaluación biológica y económica del uso de forraje verde hidropónico (FVH) en la producción de leche. Instituto tecnológico de costa rica.
- CARO F y CORREA H. 2006. Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Nicorrea@unalmed.edu.co
- CAÑAS R. 1995. Alimentación y Nutrición Animal. Colección en Agricultura Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile.
- CABRERA, R., L. OPAZO, E. GONZALEZ. 1980. Fistulación y Canulación permanente del rumen del caprino. *Arch. Med. Vet.* 12:249 -251 pág.
- CABALLO M. C. R. 2000. Manual de procedimientos para granos para la alimentación animal. Editorial Limusa. Culiacán Sinaloa. 128-175 pág.
- CABRERA, R., A. LOPEZ, J. MAIZTEGUI, M.P. MARIN. 1996. Fistulación y Canulación permanente del compartimento 1 (rumen) en alpacas (*Lama pacos*). *Avances Cs. Vet.* 11:108 -111 pág.
- CERRILLO M; JUÁREZ A; RIVERA J; GUERRERO M; RAMÍREZ R; H. 2012. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y

avena Interciencia, vol. 37, núm. 12. Asociación Interciencia Caracas, Venezuela. 906-913 pág.

CINA. sf. Laboratorio de química. Proteína cruda. Consultado el 2 de diciembre de 2014. Disponible en: http://www.cina.ucr.ac.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=16.

CUELLAR N y DIAZ A. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de nutrición animal. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia UNAM. Publicado el 16 de junio de 2001. Consultado el 28 de febrero de 2015. Disponible en: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/enlinea/ruminal/digest_ruminal.htm.

CHÁVEZ M. 1990. Consumo voluntario de forraje. Valor nutritivo de la dieta y gasto energético de vacas gestantes y lactantes en pastoreo. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua.

CHURCH, D.C. and W.G. POND. 1990. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ed. p.51-60. Ed. Limusa. México.

CHURCH, D C. 1974. Fisiología Digestiva y Nutrición de los Rumiantes. Vol.1 Fisiología Digestiva. Editorial Acribia. Zaragoza (España).

DHANOVA MS, FRANCE J, LÓPEZ S, DIJKSTRA J, LISTER SJ, DAVIES DR, BANNIK A. 1999. Correcting the calculation of extent of degradation to account for applying the polyester bag method. J. Anim. Sci. 77: 3385- 3391.

DISTEL R *et al.* 1993. Effects of early experience on voluntary intake of low-quality roughage by sheep. J. Anim. Sci. 72:1191.

ESTEBAN E y MARTINEZ M. 2011. Determinación de la calidad de forraje verde hidropónico en tres etapas de desarrollo en avena (*avena satival*) y una etapa en maíz (*Zea mays L*). Tesis Ing. Agr. Xalapa de Enríquez. Veracruz. 49 pág.

ESPINOZA F. *et al.* 2004. Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Apartado 4653, Maracay, estado Aragua. Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 22(4):303-315 pág.

ELLIOT BLOCK. 2012. Medir la materia seca para una ración constante. Artículo de básicos lecheros. Hammer Animal Nutrition, Traducción: MVZ Brenda Yumibe, Alta Genetics en Español. Consultado el 22 de febrero de 2015. Disponible en: http://web.altagenetics.com/espanol/DairyBasics/Details/3542_Medir-la-materia-seca-para-una-ration-constante.html.

ELLIS, W.; MATIS, J. y LASCANO, C. 1979. Quantitating ruminal turnover. *Fed. Proc.* 38:2702.

EDNEY, A. 1989. Nutrición de perros y gatos. 2ª ed. p.139-140. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

ECURED. sf. Cabra criolla. En línea. Consultado el 8 de enero. 2014. Disponible en http://www.ecured.cu/index.php/Cabra_criolla.

FAO .sf. Producción de Forraje Verde Hidropónico. En línea. Consultado el 23 dic. 2013. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/publicaciones/ah472/>.

FAO. sf. Alimentación de cuyes y conejo. En línea. Consultado el 9 de enero. 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v5290s/v5290s45.htm>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO), 2001. Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico. Editorial Santiago, Chile 55 pág.

FREDDY ESPINOZA. *et al.* 2004. Uso Del Forraje De Maíz (*Zea Mays*) Hidropónico En La Alimentación De Toretos Mestizos. *Zootecnia Trop.* 22(4):303-315 pág.

FRANCISCO JUÁREZ y MARIBEL MONTERO. sf. Manual de laboratorio de nutrición animal. Consultado el 3 de diciembre de 2014. Disponible en:

<http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse1/minisite/pdf/6/MANUAL%20DE%20LABORATORIO%20DE%20NUTRICION.pdf>.

FRANCO L. *et al.* 2012. Manejo y Utilización de Forrajes Tropicales Multipropósito. Proyecto: Evaluación de tecnologías por métodos participativos para la implementación de sistemas ganaderos sostenibles en el norte del departamento del Valle del Cauca. Consultado el 22 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5052/1/9789584411754.pdf>.

FAO. sf. Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Análisis proximales. Depósito de documentos de la FAO. Consultado el 5 de diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/ab489s03.htm>.

FERREIRO, G. 1990. Técnicas usadas para medir la cinética ruminal de líquidos y sólidos en el tubo gastrointestinal Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A. C.79 pág.

FUENTES J. *et al.* 2008. Digestibilidad in vitro de alfalfa (*Medicago sativa L.*) Hidropónica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista-salttillo. México. 8 pág.

GARCIA A. 2010. Interpretación del análisis del ensilaje de maíz. Consultado en 22 de febrero de 2015. disponible en: <http://www.extension.org/pages/11760/interpretacin-del-analisis-del-ensilaje-de-maiz>.

GARCÍA A. J. C. 2004. Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies forrajeras (cebada, trigo y triticale) bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo. Coahuila, México. 28-21 pág.

GALYEAN, M. y MAY, T. 1995. Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research. New Mexico State University. Department of Animal and Range Sciences.

GERARDO A. *et al.* Sf. evaluación de alimentos para rumiantes e implicancias productivas. Sitio Argentino de producción animal. ggagliostro@barcarse.inta.gov.ar

GIRALDO C, VALDERRAMA E, MONTOYA L, y ARMBRECHT I. 2006. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) sobre herbivoría de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae). En: Resúmenes IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. 113 p.

GUADA.J.A. 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. Curso de especialización FEDNA. Consultado el 7 de noviembre 2014. Disponible en: <http://www.acorex.com/PO/pienso/Efectosdelprocesadosobreladegradabilidadruminaldeproteinayalmidon.pdf>.

GOMEZ P. 2001. Producción Pecuaria. Digestibilidad de los alimentos. Consultado el 02 de mayo 2014. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102702/102702/leccin_19__digestibilidad_de_los_alimentos.html.

GÓMEZ J. *et al.* 2013. Nutritional characterization of the crop residue of mushroom (*Agaricus bisporus*) as a potential feed for cattle. Grupo BIOGEM. Línea de investigación en nutrición animal, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 23 pág.

HERRERA E. *et al.* 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. Consultado el 3 de noviembre 2014. Disponible en: http://www.interciencia.org/v35_04/284.pdf.

HYDRO ENVIRONMENT .2011.Ventajas y recomendaciones del F.V.H. En línea. Consultado el 12 de enero 2014. Disponible en: http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=127&chapter=13.

HERRERA E; CERRILLO M; JUÁREZ A; MURILLO M; RÍOS F; REYES O; BERNAL H. 2010. Efecto Del Tiempo De Cosecha Sobre El Valor Proteico y

Energético Del Forraje Verde Hidropónico De Trigo Interciencia, Vol. 35, Núm. 4. Asociación Interciencia – Venezuela. 284-289 pág.

HERRERA A. *et al.* 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. Rev. Cient. 17: 372-379 pág.

HOAGLAND and ARNON. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, Calif. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.

HOWAR R. 2001. CULTIVOS HIDROPÓNICOS. EDITORIAL MUNDIPRENSA. Bogotá- Colombia. 149-50 pág.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (INAMHI) 2014. Consultado el 10 de enero del 2015. Disponible en <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

JARQUÍN J. y ROCHA J. 2013. Degradación ruminal de la materia seca y materia orgánica del follaje de marango (*Moringa oleifera*) a diferentes edades de corte en vacas Reyna. Finca Santa Rosa, Managua –Nicaragua.

KAWAS J.J.1995. Factores que afectan el consumo voluntario de forrajes por bovinos en pastoreo. En: curso-taller internacional de actualización sobre consumo voluntario de alimentos. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah.

LASCANO, C., R. BOREL, R. QUIROZ, J. ZORRILLA, C. CHAVES y C. WERNLI. 1990. Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad in vivo. En: M. E. Ruiz y A. Ruiz (Eds.). Nutrición de Rumiantes: Guía metodológica de investigación. IICA-ALPA-RISPAL. San José, Costa Rica. 159-168 pág.

LARA P. *et al.* 2009. Producción de gas in vitro y cinética de degradación de la harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz. *Revista cubana de ciencia agrícola*. Tomo 43. Número 3. 8 pág.

LIMA R. 2011. Evaluation of sorghum–soybean (*Sorghum bicolor* (L.) Moench – *Glycine max* (L.) Merr.) silage as ruminant feed. Ghent University. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent, Belgium. 161 pages.

LIMA R. *et al.* 2011. Digestibility, methane production and nitrogen balance in sheep fed ensiled or fresh mixtures of sorghum–soybean forage. *Livestock Science*. 36 –46 pág.

LOPEZ D. sf. Determinación de fibra cruda y fibra dietética. Academia. edu. Consultado el 4 de diciembre de 2014. Disponible en: http://www.academia.edu/6424768/Resumen_de_analisis.

LÓPEZ AR, MURILLO AB, RODRÍGUEZ QG .2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado de zonas áridas. *Interciencia* 34: 121-126.

Mc DONALD, P ; EDWARDS, R; GREENHALGH, J. 1986. *Nutrición animal*. 3ª ed. Ed. Acribia, Zaragoza. p 45-60, 201-215.

MANUEL ENRIQUE ROMERO VALDEZ. *et al.* .2009. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. Universidad de Guanajuato. México., vol. 19, núm. 2p. 11-19.

MAYNARD, L.; LOOSLI, J.; HINTZ, H.; WARNER, R. 1989. Procesos digestivos en diferentes especies Animales. *Nutrición Animal*. Capítulo 3. Mc Graw Hill. 4ª Ed. México. 34 pág.

MERCHEN, N. R. 1993. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. En: D. C. Church (Ed.). *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. Tomo I. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 191 – 223 pág.

MELLADO M. *et al.* 2004. La edad y la condición corporal y las dietas de cabras de pastoreo. *Pastizales Ecología y Gestión*, 57 (5): 517-523. Publicado por: Sociedad para la Gestión de la gama. BIBLIOTECA VIRTUAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA. Consultado el 7 de abril de 2015.

MINSON J. 1990. *Forage in ruminant Nutrition*. Academic Press. San Diego.CA.

MONTALBETTI A.sf. Microbiología del rumen. BIBLIOTECA VIRTUAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA. Consultado el 10 de abril de 2015.

NAVARRETE R. 2008. ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD DE DOS GRAMINEAS (*Hordeum bulgare* y *Triticum estivum*) Y UNA LEGUMINOSA (*Vicia sp*) PARA FORRAJE VERDE HIDROPONICO (FVH) CON TRES CORTES SUCESIVOS EN LA GRANJA ECAA.Tesis.ing agropecuario. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR. IBARRA-ECUADOR.

NAVARRO C. *et al.* 2011. Comparación de la técnica de digestibilidad in vitro con la in situ de diez forrajes en bovinos rumino-fistulados en el piedemonte llanero del meta. *Rev sist prod agroecol*.Vol 2: Núm 2.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1981. Tecnología práctica. ganadería y praderas. EL ESLABÓN. Alimentación de caprinos. 3 pág.

NOGUERA R y OCHOA S. 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Consultado el 05 de mayo 2014. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n2/v20n2a09>.

ORSKOV E.R, D. HOVELL y F. MOULD. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feeds tuffs. *Trop. Anim. Prod.*, 5: 195-213.

ORTEGA M. 2004. Evaluación de los intervalos de escurrimiento de la semilla durante el periodo de remojo para producir forraje verde hidropónico y su evaluación en la

alimentación de vacas lecheras. Tesis de grado. Escuela superior politécnica del Chimborazo . Riobamba- Ecuador.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Programa de las naciones unidas para el desarrollo. 2003. Manual técnico la huerta hidropónica popular. Curso Audiovisual César Marulanda. Consultor FAO Juan Izquierdo Oficial Regional de Producción Vegetal, FAO OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE 3ª. Edición ampliada y revisada Santiago, Chile. BIBLIOTECA VIRTUAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA. Consultado el 10 de abril de 2015.

OWENS, F. y HANSON, C. 1992. Extremal and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:2605.

ØRSKOV, E.R., McDONALD, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92, 499–503 p.

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN. 2001. Forraje Verde Hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Manual Técnico. Primera Parte. 68 p.

PÉREZ J. 1999. MANUAL DE CULTIVOS HIDROPONICOS. Ediciones culturales LTDA. Santa fe de Bogotá- Colombia. 45-46 pág.

PÉREZ A. 2013. Digestibilidad in vitro de maíz y sorgo cultivados en condiciones de hidroponia. Tesis. Ing Agrónomo zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista-méxico. 51 pág.

PICHU L. SF. Digestión de carbohidratos en rumiantes. Consultado el 8 de noviembre 2014. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/136562144/Digestion-de-carbohidratos-en-rumiantes>.

RAZZ R. et al. 2004. Cinética de degradación in situ de la leucaena (*Leucocephala*) y *Panicum maximum*. Revista científica RCV-luz / vol XIV. N° 5, 424-430 pág.

RELLING A Y METTIOLI G. 2003. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Consultado el 04 de mayo 2014. Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/catbioquimicavet/fisio%20dig%20rumiantes.pdf>.

RIVERA B y ESTRADA J.1986. Estandarización de una técnica para fistulación ruminal de bovinos. Consultado el 06 de mayo 2014. Disponible en: http://tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/1986-vol8-rev1-2-3/Vol8_rev2_86_art8.pdf.

ROSAS A. sf. Forraje Verde Hidropónico. Consultado el 01 de diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.antoniorosasroa.com/fvh.html>.

ROSETO R y POSADA, S. 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Rev Colom de Cien Pecu. 20 (2): 174-182 pág.

RODRÍGUEZ R, H., E. C. Rodríguez M., A. Flores, I. Sánchez., A. Grado. 2003. Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. Hidroponía.147-149 pág.

SANTACOLOMA L. 2009. Metabolismos de los carbohidratos. 201510–Nutrición de rumiantes. Consultado el 9 de noviembre 2014. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201506/Formato_unico_Nutricion_de_rumiantes.pdf.

SÁNCHEZ J. 2007. Análisis comparativo de la rentabilidad del forraje verde hidropónico y el cultivo en terreno firme en el distrito de SAMA INCLAN. En línea. Consultado el 10 dic. 2013. Disponible en: <http://tesisidroponica.blogspot.com/>.

SÁNCHEZ D. et al. 2005. Estudio de la cinética de degradación in vitro de cuatro forrajes tropicales y una leguminosa de clima templado. Revista Corpoica.Vol 6 No 1-11 pág.

SÁNCHEZ, C.A. 2001. Manual técnico “Producción de Forraje Verde Hidropónico”, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 149 pág.

SANTANDER F. sf. Forraje Verde Hidropónico. En línea. Consultado el 20 dic. 2013. Disponible en: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwikidroponia.wikispaces.com%2Ffile%2Fview%2FForraje%2BVerde%2BHidroponico.doc&ei=J_S6UvnPEImFkQfD8YGoDQ&usg=AFQjCNEsquoAo78TofurU2zomYAOHyTN_g&bvm=bv.58187178,d.eW0.

SELECTA. 2011. Determinación de la proteína por el método kjeldahl. Consultado el 2 de diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.grupo-selecta.com/notasdeaplicaciones/analisis-alimentarios-y-de-aguas-nutritional-and-water-analysis/determinacion-de-proteinas-por-el-metodo-de-kjeldahl-kjeldahl-method-for-protein-determination/>.

TARRILLO H.2014. Forraje hidropónico. En línea. Consultado el 13 de enero 2014. Disponible en: <http://www.forrajehidroponico.com/Principal.aspx>.

TROPICALCIS. 2009. Ficha técnica de AGRI 103, 104 y 344, Plegable de Divulgación. Tropical CIS. Colombia. Consultado el 21 de enero 2014. Disponible en: http://www.semicol.co/semillas/agricolas/maiz-agri-104/flypage_new.tpl.html.

TRUJILLO A. *et al.* 2009. Estudio de caso: degradabilidad de la materia seca y nitrógeno de lotus (*Lotus subbiflorus*) cv. El rincón entre cortes primaverales. Revista argentina de producción animal. vol 29 (1): 1-11 pág.

USCA J. 2000. Evaluación del uso de forraje hidropónico de cebada en la alimentación de cuyes en las etapas de crecimiento y engorde. Tesis de grado de Maestría. Escuela de post grado. Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. sf. Nutrición Animal. Dirección Juan de Quesada, 3035001. Las Palmas de Gran Canaria-España
Email: universidad@ulpgc.es Tlf: (+34)928 451 000 Fax: (+34)928 451 022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 2013. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Av. La Molina s/n La Molina. Lima 12. Perú. Telf. (51-1) 614-7800 Anexo 276. Fax (51-1) 348-5359. email: redhidrolamolina.edu.pe.

VARGAS MAH .2008. Evaluación Productiva Ambiental de dos genotipos de Maíz (*Zea Mays L.*), en Forraje Verde Hidropónico Bajo Invernadero. Tesis. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Durango, México. 60 pág.

VAN SOEST, P.J., R.H. WINE and L.A. MOORE. 1966. Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. Proc. 10th Int. Grasslands Congr., Helsinki. 438-441 pág.

VAN SOEST, P. J., 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press. Ithaca (USA). 476 pág.

VAN ES, A. J. H.; VAN DER MEER, J. M., 1980. Methods of analysis for predicting the energy and protein value of feeds for farm animals. Institute for Livestock Feeding and Nutrition Research Lelystad. Netherlands. 74 pág.

VAN LIER E y REGUEIRO M. 2008. Digestión en retículo rumen. Consultado el 5 de noviembre 2014. Disponible en: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/AFA/TEORICOS/Repartido-Digestion-en-Reticulo-Rumen.pdf>.

VERGARA J. y ARAUJO O. 2006. Producción, composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de *Brachiaria humidicola*, (RENDLE) en el bosque seco tropical. Revista científica. FCV-luz /vol XVI, N° 3, 239-248 pág.

WATTIAUX, M. 2001. Composición y análisis de alimentos. Instituto babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera. Consultado el 27 de febrero de 2015. Disponible en: http://babcock.wisc.edu/sites/default/files/de/es/de_02.es.pdf.

YOKOHAMA, M.T., y K.A. JOHNSON. 1988. Microbiología del rumen e intestino. Fisiología digestiva y nutrición. C.D. church, Ed. editorial acribial. Zaragoza, España. 137-158 Pág.

Cuadro 1A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución FAO.

solución FAO										
NUMERO DE BOLSA	PESO BOLSA	PESO MUESTRA	PESO BOLSA +MUESTRA 65C	PESO PIOLA	PESO SECO	MS	Degradación efectiva	TIEMPO DE FERMENTACIÓN (H)	PROMEDIO	% DE DIDESTIBILIDAD MS
1	0,655	4,965	2,957	0,084	2,218	44,67	55,50	0	44,50	55,50
9	0,647	5,082	2,852	0,029	2,176	42,82				
17	0,680	5,126	3,122	0,023	2,419	47,19				
25	0,676	4,928	2,835	0,024	2,135	43,32				
2	0,652	4,996	2,615	0,041	1,922	38,47	66,74	3	39,82	60,18
10	0,647	5,047	2,546	0,023	1,876	37,17				
18	0,653	4,899	2,681	0,028	2,000	40,82				
26	0,662	5,493	3,043	0,030	2,351	42,80				
3	0,648	4,952	2,189	0,035	1,506	30,41	73,52	6	37,95	62,05
11	0,647	5,010	2,395	0,026	1,722	34,37				
19	0,664	5,046	2,868	0,022	2,182	43,24				
27	0,665	5,085	2,922	0,031	2,226	43,78				
4	0,672	4,953	2,482	0,047	1,763	35,59	78,77	9	36,42	63,58
12	0,675	4,958	2,366	0,021	1,670	33,68				
20	0,674	4,959	2,681	0,026	1,981	39,95				
28	0,675	5,171	2,594	0,033	1,886	36,47				
5	0,675	5,191	2,429	0,044	1,710	32,94	82,77	12	35,39	64,61
13	0,668	5,275	2,375	0,033	1,674	31,73				
21	0,668	5,381	2,692	0,031	1,993	37,04				
29	0,672	5,354	2,837	0,032	2,133	39,84				
6	0,651	5,037	2,028	0,041	1,336	26,52	92,99	24	29,59	70,41
14	0,646	5,019	2,016	0,038	1,332	26,54				
22	0,657	4,987	2,173	0,030	1,486	29,80				
30	0,660	5,182	2,524	0,025	1,839	35,49				
7	0,645	4,157	1,570	0,044	0,881	21,19	98,72	48	22,72	77,28
15	0,644	4,488	1,480	0,045	0,791	17,62				
23	0,664	4,041	1,746	0,031	1,051	26,01				
31	0,662	4,124	1,766	0,029	1,075	26,07				
8	0,649	5,031	1,653	0,024	0,980	19,48	99,76	72	17,77	82,23
16	0,644	5,028	1,545	0,039	0,862	17,14				
24	0,671	5,207	1,577	0,030	0,876	16,82				
32	0,666	4,966	1,695	0,035	0,994	17,62				

Cuadro 2A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución Hoagland.

solución Hoagland										
NUMERO DE BOLSA	PESO BOLSA	PESO MUESTRA	PESO BOLSA +MUESTRA 65C	PESO PIOLA	PESO SECO	MS	Degradación efectiva	TIEMPO DE FERMENTACIÓN (H)	PROMEDIO	% DE DIDESTIBILIDAD MS
17	0,645	4,915	2,799	0,029	2,125	43,23	55,10	0	44,90	55,10
25	0,647	4,995	2,956	0,073	2,236	44,76				
1	0,689	5,384	3,203	0,022	2,492	46,29				
9	0,691	5,153	3,049	0,022	2,336	45,33				
18	0,641	5,020	2,610	0,040	1,929	38,43	66,95	3	39,57	60,43
26	0,643	5,110	2,660	0,038	1,979	38,73				
2	0,661	4,942	2,711	0,026	2,024	40,96				
10	0,658	5,213	2,787	0,035	2,094	40,17				
19	0,647	5,002	2,448	0,034	1,767	35,33	73,82	6	37,53	62,47
27	0,646	4,908	2,497	0,045	1,806	36,80				
3	0,660	5,453	2,978	0,036	2,282	41,85				
11	0,654	5,455	2,656	0,030	1,972	36,15				
20	0,673	5,931	2,392	0,027	1,692	28,53	79,35	9	35,43	64,57
28	0,676	4,931	2,401	0,037	1,688	34,23				
4	0,662	4,991	2,645	0,032	1,951	39,09				
12	0,652	5,851	3,012	0,027	2,333	39,87				
21	0,676	5,243	2,428	0,035	1,717	32,75	83,34	12	34,22	65,78
29	0,672	5,334	2,367	0,044	1,651	30,95				
5	0,679	5,298	2,563	0,023	1,861	35,13				
13	0,675	5,176	2,679	0,035	1,969	38,04				
22	0,646	5,001	2,178	0,039	1,493	29,85	92,78	24	30,48	69,52
30	0,654	5,136	2,176	0,045	1,477	28,76				
6	0,643	5,655	2,739	0,033	2,063	36,48				
14	0,660	5,547	2,182	0,034	1,488	26,83				
23	0,640	4,984	1,962	0,047	1,275	25,58	98,67	48	23,64	76,36
31	0,651	5,043	1,852	0,044	1,157	22,94				
7	0,657	4,803	1,982	0,028	1,297	27,00				
15	0,660	4,728	1,594	0,035	0,899	19,01				
24	0,645	4,970	2,078	0,038	1,395	28,07	99,72	72	21,35	78,65
32	0,653	5,124	1,658	0,037	0,968	18,89				
8	0,671	5,292	2,057	0,034	1,352	25,55				
16	0,666	5,255	1,374	0,030	0,678	12,90				

Cuadro 3A. Cinética de degradación de la MS del FVHM con solución La Molina.

solución La Molina										
NUMERO DE BOLSA	PESO BOLSA	PESO MUESTRA	PESO BOLSA +MUESTRA 65C	PESO PIOLA	PESO SECO	MS	Degradación efectiva	TIEMPO DE FERMENTACIÓN (H)	PROMEDIO	% DE DIDESTIBILIDAD MS
1	0,627	5,042	2,730	0,042	2,061	40,88	57,27	0	42,73	57,27
9	0,621	4,897	2,459	0,043	1,795	36,66				
17	0,611	5,003	2,536	0,036	1,889	37,76				
25	0,642	5,001	3,469	0,044	2,783	55,65				
2	0,675	5,145	2,871	0,033	2,163	42,04	66,15	3	40,52	59,48
10	0,669	5,497	3,089	0,034	2,386	43,41				
18	0,669	4,950	2,534	0,027	1,838	37,13				
26	0,667	5,193	2,756	0,037	2,052	39,51				
3	0,646	5,039	2,853	0,040	2,167	43,00	73,18	6	38,44	61,56
11	0,650	5,440	2,536	0,040	1,846	33,93				
19	0,655	5,310	2,706	0,037	2,014	37,93				
27	0,653	5,294	2,739	0,027	2,059	38,89				
4	0,699	4,912	2,461	0,040	1,722	35,06	78,38	9	37,10	62,90
12	0,695	5,130	2,973	0,045	2,233	43,53				
20	0,689	4,912	2,749	0,041	2,019	41,10				
28	0,658	5,116	2,181	0,055	1,468	28,69				
5	0,658	5,103	2,589	0,033	1,898	37,19	82,28	12	36,41	63,59
13	0,652	4,881	2,545	0,042	1,851	37,92				
21	0,656	5,606	2,591	0,041	1,894	33,79				
29	0,662	4,783	2,463	0,043	1,758	36,76				
6	0,660	4,928	2,645	0,039	1,946	39,49	91,57	24	35,60	64,40
14	0,656	5,275	2,528	0,037	1,835	34,79				
22	0,643	4,868	1,677	0,045	0,989	20,32				
30	0,648	5,148	3,154	0,045	2,461	47,80				
7	0,663	5,192	2,543	0,043	1,837	35,38	98,11	48	33,66	66,34
15	0,656	5,461	2,380	0,035	1,689	30,93				
23	0,656	5,017	2,465	0,040	1,769	35,26				
31	0,649	5,123	2,380	0,036	1,695	33,09				
8	0,648	5,251	2,602	0,042	1,912	36,41	99,61	72	29,09	70,91
16	0,668	5,479	1,752	0,040	1,044	19,05				
24	0,650	5,179	2,439	0,037	1,752	33,83				
32	0,665	5,089	2,084	0,041	1,378	27,08				

Cuadro 4A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución FAO.

solución FAO												
NÚMERO DE CRISOL ES	Tiempo	PESO DE CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTRA (g)	PESO MUESTRA + CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTRA + CRISOL ES ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTRA SECA (g)	% MATERIA ORGÁNICA	PROMEDIO % DE DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA	degradabilidad efectiva MO	degradación efectiva %	% CENIZA	PROMEDIO % CENIZA
33	0	18,4112	0,5044	18,9156	18,4127	0,5029	99,70	99,79	0,50	50,44	0,30	0,21
34		19,8335	0,3284	20,1619	19,8339	0,3280	99,88				0,12	
35	3	19,8605	0,4624	20,3229	19,8614	0,4615	99,81	99,76	0,54	53,84	0,19	0,24
36		21,3361	0,4338	21,7699	21,3373	0,4326	99,72				0,28	
37	6	19,7705	0,4528	20,2233	19,7726	0,4507	99,54	99,58	0,59	58,91	0,46	0,42
38		19,2851	0,4223	19,7074	19,2867	0,4207	99,62				0,38	
39	9	20,6251	0,4551	21,0802	20,6271	0,4531	99,56	99,58	0,64	64,42	0,44	0,42
40		18,5594	0,4925	19,0519	18,5614	0,4905	99,59				0,41	
41	12	19,7564	0,4775	20,2339	19,7580	0,4759	99,66	99,55	0,72	72,18	0,34	0,45
42		19,3629	0,4614	19,8243	19,3655	0,4588	99,44				0,56	
43	24	19,5107	0,4517	19,9624	19,5134	0,4490	99,40	99,50	0,79	79,43	0,60	0,50
44		19,5449	0,4512	19,9961	19,5467	0,4494	99,60				0,40	
45	48	22,4299	0,4548	22,8847	22,4360	0,4487	98,66	98,44	0,88	87,83	1,34	1,56
46		18,4778	0,4836	18,9614	18,4864	0,4750	98,22				1,78	
47	72	17,8672	0,4969	18,3641	17,8774	0,4867	97,95	98,17	0,98	97,71	2,05	1,83
48		20,9870	0,4726	21,4596	20,9946	0,4650	98,39				1,61	

Cuadro 5A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución Hoagland.

solución Hoagland												
NÚMERO DE CRISOL ES	Tiempo	PESO DE CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTRA (g)	PESO MUESTRA + CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTRA + CRISOL ES ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTRA SECA (g)	% MATERIA ORGÁNICA	PROMEDIO % DE DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA	degradabilidad efectiva MO	degradación efectiva %	% CENIZA	PROMEDIO % CENIZA
1	0	20,4752	0,4329	20,9081	20,4828	0,4253	98,24	98,30	0,43	43,29	1,76	1,70
2		21,0521	0,5035	21,5556	21,0604	0,4952	98,35				1,65	
3	3	19,5818	0,5004	20,0822	19,5909	0,4913	98,18	98,24	0,58	58,13	1,82	1,76
4		17,8277	0,5112	18,3389	17,8364	0,5025	98,30				1,70	
5	6	22,2584	0,5125	22,7709	22,2680	0,5029	98,13	98,02	0,66	66,45	1,87	1,98
6		18,9462	0,5066	19,4528	18,9568	0,4960	97,91				2,09	
7	9	16,4614	0,4932	16,9546	16,4706	0,4840	98,13	98,01	0,70	69,51	1,87	1,99
8		19,6156	0,4333	20,0489	19,6248	0,4241	97,88				2,12	
9	12	18,5420	0,4897	19,0317	18,5535	0,4782	97,65	97,86	0,74	73,51	2,35	2,14
10		22,8559	0,4754	23,3313	22,8651	0,4662	98,06				1,94	
11	24	21,4953	0,4624	21,9577	21,5035	0,4542	98,23	98,15	0,81	80,90	1,77	1,85
12		22,0199	0,4345	22,4544	22,0283	0,4261	98,07				1,93	
13	48	21,6330	0,4354	22,0684	21,6420	0,4264	97,93	98,13	0,84	83,79	2,07	1,87
14		19,9829	0,4615	20,4444	19,9906	0,4538	98,33				1,67	
15	72	19,1793	0,4762	19,6555	19,1891	0,4664	97,94	97,25	0,94	93,64	2,06	2,75
16		19,9619	0,5035	20,4654	19,9792	0,4862	96,56				3,44	

Cuadro 6A. Cinética de degradación de la MO del FVHM con solución La Molina.

solución La Molina												
NÚMERO DE CRISOL ES	Tiempo	PESO DE CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTR A (g)	PESO MUESTR A + CRISOLE S (g)	PESO DE MUESTR A + CRISOLE S ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTR A SECA (g)	% MATERI A ORGÁNICA	PROMEDIO % DE DIGESTIBILIDAD DE LA MATERI A ORGÁNICA	degradabilidad efectiva MO	degradación efectiva %	% CENIZA	PROMEDIO % CENIZA
17	0	21,2400	0,3545	21,5945	21,2454	0,3491	98,48	98,64	0,35	35,45	1,52	1,36
18		21,0632	0,3438	21,4070	21,0673	0,3397	98,81				1,19	
19	3	20,7400	0,3641	21,1041	20,7466	0,3575	98,19	98,23	0,42	42,30	1,81	1,77
20		24,4739	0,3897	24,8636	24,4806	0,3830	98,28				1,72	
21	6	20,7249	0,3981	21,1230	20,7323	0,3907	98,14	98,26	0,52	51,62	1,86	1,74
22		16,8784	0,5200	17,3984	16,8868	0,5116	98,38				1,62	
23	9	19,6384	0,4162	20,0546	19,6467	0,4079	98,01	97,99	0,59	58,64	1,99	2,01
24		17,0585	0,4247	17,4832	17,0671	0,4161	97,98				2,02	
25	12	21,3251	0,4233	21,7484	21,3345	0,4139	97,78	97,92	0,64	63,57	2,22	2,08
26		20,4839	0,4113	20,8952	20,4919	0,4033	98,05				1,95	
27	24	22,0784	0,4012	22,4796	22,0862	0,3934	98,06	97,98	0,70	70,14	1,94	2,02
28		18,5914	0,4110	19,0024	18,6000	0,4024	97,91				2,09	
29	48	20,7983	0,4060	21,2043	20,8076	0,3967	97,71	98,19	0,78	78,04	2,29	1,81
30		17,3145	0,3450	17,6595	17,3191	0,3404	98,67				1,33	
31	72	17,6700	0,4522	18,1222	17,6836	0,4386	96,99	97,04	0,88	88,50	3,01	2,96
32		22,7205	0,4690	23,1895	22,7342	0,4553	97,08				2,92	

Cuadro 7A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución FAO.

solución FAO															
Tubo	Tiempo	Peso muest	Cons. titula	Vol Blanco	Norm Acido	Peso m. de N	factor					% PC	Promedio	% de Digestibilidad de la PC	Degradabilidad efectiva
33	0	0,3135	6,8	0,3	0,1	1,401	6,25	6,5	0,1401	0,9107	2,9048	18,15	15,67	84,33	84,33
34	0	0,3518	5,6	0,3	0,1	1,401	6,25	5,3	0,1401	0,7425	2,1107	13,19			
35	3	0,4170	7,9	0,3	0,1	1,401	6,25	7,6	0,1401	1,0648	2,5534	15,96	14,98	85,02	87,49
36	3	0,3504	5,9	0,3	0,1	1,401	6,25	5,6	0,1401	0,7846	2,2390	13,99			
37	6	0,3356	5,5	0,3	0,1	1,401	6,25	5,2	0,1401	0,7285	2,1708	13,57	14,04	85,96	90,20
38	6	0,3499	6,1	0,3	0,1	1,401	6,25	5,8	0,1401	0,8126	2,3223	14,51			
39	9	0,3096	5,6	0,3	0,1	1,401	6,25	5,3	0,1401	0,7425	2,3984	14,99	13,76	86,24	91,98
40	9	0,3563	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	5,1	0,1401	0,7145	2,0054	12,53			
41	12	0,3512	5,9	0,3	0,1	1,401	6,25	5,6	0,1401	0,7846	2,2339	13,96	13,01	86,99	93,67
42	12	0,3996	5,8	0,3	0,1	1,401	6,25	5,5	0,1401	0,7706	1,9283	12,05			
43	24	0,3693	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	5,1	0,1401	0,7145	1,9348	12,09	11,84	88,16	97,19
44	24	0,3549	5,0	0,3	0,1	1,401	6,25	4,7	0,1401	0,6585	1,8554	11,60			
45	48	0,3984	5,1	0,3	0,1	1,401	6,25	4,8	0,1401	0,6725	1,6880	10,55	9,72	90,28	99,45
46	48	0,3940	4,3	0,3	0,1	1,401	6,25	4,0	0,1401	0,5604	1,4223	8,89			
47	72	0,3294	3,2	0,3	0,1	1,401	6,25	2,9	0,1401	0,4063	1,2334	7,71	8,33	91,67	99,89
48	72	0,3523	3,9	0,3	0,1	1,401	6,25	3,6	0,1401	0,5044	1,4316	8,95			

Cuadro 8A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución Hoagland.

solución Hoagland															
Tubo	Tiempo	Peso muest	Cons. titula	Vol Blanco	Norm Acido	Peso m. de N	factor					% PC	Promedio	% de Digestibilidad de la PC	Degradabilidad efectiva
17	0	0,3040	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	5,1	0,1401	0,7145	2,3504	14,69	14,44	85,56	85,56
18	0	0,3333	5,7	0,3	0,1	1,401	6,25	5,4	0,1401	0,7565	2,2698	14,19			
19	3	0,3296	6,0	0,3	0,1	1,401	6,25	5,7	0,1401	0,7986	2,4228	15,14	14,38	85,62	87,99
20	3	0,3215	5,3	0,3	0,1	1,401	6,25	5,0	0,1401	0,7005	2,1788	13,62			
21	6	0,3222	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	5,1	0,1401	0,7145	2,2176	13,86	13,17	86,83	90,81
22	6	0,3228	4,9	0,3	0,1	1,401	6,25	4,6	0,1401	0,6445	1,9965	12,48			
23	9	0,3165	5,0	0,3	0,1	1,401	6,25	4,7	0,1401	0,6585	2,0805	13,00	12,65	87,35	92,63
24	9	0,3062	4,6	0,3	0,1	1,401	6,25	4,3	0,1401	0,6024	1,9674	12,30			
25	12	0,3711	5,5	0,3	0,1	1,401	6,25	5,2	0,1401	0,7285	1,9631	12,27	12,09	87,91	94,11
26	12	0,3234	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	4,4	0,1401	0,6164	1,9061	11,91			
27	24	0,3318	4,2	0,3	0,1	1,401	6,25	3,9	0,1401	0,5464	1,6467	10,29	11,87	88,13	97,19
28	24	0,3189	5,2	0,3	0,1	1,401	6,25	4,9	0,1401	0,6865	2,1527	13,45			
29	48	0,3155	3,5	0,3	0,1	1,401	6,25	3,2	0,1401	0,4483	1,4210	8,88	10,04	89,96	99,44
30	48	0,3441	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	4,4	0,1401	0,6164	1,7915	11,20			
31	72	0,3132	4,0	0,3	0,1	1,401	6,25	3,7	0,1401	0,5184	1,6551	10,34	8,94	91,06	99,88
32	72	0,3487	3,3	0,3	0,1	1,401	6,25	3,0	0,1401	0,4203	1,2053	7,53			

Cuadro 9A. Cinética de degradación de la PC del FVHM con solución La Molina.

solución La Molina															
Tubo	Tiempo	Peso muest	Cons. titula	Vol Blanco	Norm Acido	Peso m. de N	factor					% PC	Promedio	% de Digestibilidad de la PC	Degradabilidad efectiva
1	0	0,3219	6,2	0,3	0,1	1,401	6,25	5,9	0,1401	0,8266	2,5678	16,05	15,11	84,89	84,89
2	0	0,3521	6,0	0,3	0,1	1,401	6,25	5,7	0,1401	0,7986	2,2680	14,18			
3	3	0,3298	5,8	0,3	0,1	1,401	6,25	5,5	0,1401	0,7706	2,3364	14,60	14,74	85,26	87,69
4	3	0,3297	5,9	0,3	0,1	1,401	6,25	5,6	0,1401	0,7846	2,3796	14,87			
5	6	0,3153	5,1	0,3	0,1	1,401	6,25	4,8	0,1401	0,6725	2,1328	13,33	14,43	85,57	89,93
6	6	0,3100	5,8	0,3	0,1	1,401	6,25	5,5	0,1401	0,7706	2,4856	15,54			
7	9	0,3184	5,2	0,3	0,1	1,401	6,25	4,9	0,1401	0,6865	2,1561	13,48	14,21	85,79	91,72
8	9	0,3398	6,1	0,3	0,1	1,401	6,25	5,8	0,1401	0,8126	2,3913	14,95			
9	12	0,3110	5,1	0,3	0,1	1,401	6,25	4,8	0,1401	0,6725	2,1623	13,51	13,70	86,30	93,33
10	12	0,3151	5,3	0,3	0,1	1,401	6,25	5,0	0,1401	0,7005	2,2231	13,89			
11	24	0,3429	5,0	0,3	0,1	1,401	6,25	4,7	0,1401	0,6585	1,9203	12,00	12,15	87,85	97,12
12	24	0,4059	6,0	0,3	0,1	1,401	6,25	5,7	0,1401	0,7986	1,9674	12,30			
13	48	0,3165	4,6	0,3	0,1	1,401	6,25	4,3	0,1401	0,6024	1,9034	11,90	10,96	89,04	99,38
14	48	0,3584	4,4	0,3	0,1	1,401	6,25	4,1	0,1401	0,5744	1,6027	10,02			
15	72	0,3343	3,7	0,3	0,1	1,401	6,25	3,4	0,1401	0,4763	1,4249	8,91	8,92	91,08	99,88
16	72	0,3333	3,7	0,3	0,1	1,401	6,25	3,4	0,1401	0,4763	1,4292	8,93			

Cuadro 10A. Digestibilidad de la MS del FVHM con solución FAO, Hoagland y La Molina.

SOLUCIONES	NUMERO CABRA	PESO FUNDA (g)	PESO MUESTRA (g)	PESO FUNDA + MUESTRA (g)	PESO SECO FUNDA +MUESTRA ESTUFA (g)	PESO SECO MUESTRA (g)	% MS hecces	% de MS del alimento	DIGESTIBILIDAD APARENTE	% de digestibilidad del MS verdadera
FAO	1	2,510	21,659	25,169	23,593	21,083	97,34	20,08	77,26	93,13
	2	2,499	21,267	24,766	23,223	20,724	97,45	20,08	77,37	93,24
	3	2,552	23,576	27,128	25,430	22,878	97,04	20,08	76,96	92,83
	4	2,520	22,167	25,688	24,082	21,562	97,27	20,08	77,19	93,06
LA MOLINA	1	2,515	16,331	16,846	15,829	13,314	81,53	17,20	64,33	77,31
	2	2,528	14,247	14,775	13,882	11,354	79,69	17,20	62,49	75,48
	3	2,546	16,639	18,185	17,090	14,544	87,41	17,20	70,21	83,21
	4	2,530	15,739	16,602	15,600	13,071	83,05	17,20	65,85	78,84
HOAGLAND	1	2,575	22,898	25,473	23,833	21,258	92,84	25,20	67,64	88,57
	2	2,567	19,109	21,696	19,365	16,798	87,91	25,20	62,71	83,62
	3	2,682	20,681	22,363	20,930	18,248	88,24	25,20	63,04	83,95
	4	2,608	20,896	23,177	21,376	18,768	89,82	25,20	64,62	85,54

Cuadro 11A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución FAO.

solución FAO													
NÚMERO DE CRISOL ES	CABRA	PESO DE CRISOLE S (g)	PESO DE MUESTR A (g)	PESO MUESTR A + CRISOLE S (g)	PESO DE MUESTRA + CRISOLE S ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTR A SECA (g)	% MATERI A ORGÁNICA	MATERIA ORGÁNICA en las heces	% CENIZA	PROMED IO % CENIZA	% de MO del alimento	% de digestibilidad de la MO	PROMED IO
49	1	16,0769	0,5318	16,6087	16,1399	0,4688	88,15	11,85	11,85	10,23	96,40	84,53	86,21
50	1	16,5825	0,5100	17,0925	16,6264	0,4661	91,39	8,61	8,61		96,40	87,89	
51	2	20,2300	0,6476	20,8776	20,3129	0,5647	87,20	12,80	12,80	12,58	96,40	83,54	83,77
52	2	20,0506	0,8757	20,9263	20,1588	0,7675	87,64	12,36	12,36		96,40	84,00	
53	3	20,9839	0,5660	21,5499	21,0503	0,4996	88,27	11,73	11,73	11,76	96,40	84,65	84,61
54	3	19,7857	0,4723	20,2580	19,8414	0,4166	88,21	11,79	11,79		96,40	84,58	
55	4	20,5941	0,4898	21,0839	20,6523	0,4316	88,12	11,88	11,88	12,06	96,40	84,49	84,31
56	4	19,9245	0,6091	20,5336	19,9990	0,5346	87,77	12,23	12,23		96,40	84,13	

Cuadro 12A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución Hoagland.

solución Hoagland													
NÚMERO DE CRISOLE S	CAB RA	PESO DE CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTR A (g)	PESO MUESTR RA + CRISOL ES (g)	PESO DE MUESTRA + CRISOLES ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTR RA SECA (g)	% MATERIA ORGÁNICA	MATERIA ORGÁNICA en las heces	% CENIZ A	PROMED IO % CENIZA	% de MO del alimento	% de digestibili dad de la MO	PROME DIO
57	1	21,2414	0,5568	21,7982	21,3117	0,4865	87,37	12,63	12,63	12,63	97,30	84,74	84,73
58	1	20,5217	0,4258	20,9475	20,5755	0,3720	87,36	12,64	12,64		97,30	84,73	
59	2	21,7346	0,5757	22,3103	21,8030	0,5073	88,12	11,88	11,88	12,21	97,30	85,50	85,17
60	2	20,7648	0,5650	21,3298	20,8356	0,4942	87,47	12,53	12,53		97,30	84,83	
61	3	19,8617	0,5445	20,4062	19,9277	0,4785	87,88	12,12	12,12	12,51	97,30	85,25	84,86
62	3	19,3333	0,4933	19,8266	19,3969	0,4297	87,11	12,89	12,89		97,30	84,46	
63	4	21,2732	0,5812	21,8544	21,3443	0,5101	87,77	12,23	12,23	12,30	97,30	85,14	85,07
64	4	22,7494	0,5240	23,2734	22,8142	0,4592	87,63	12,37	12,37		97,30	85,00	

Cuadro 13A. Digestibilidad de la MO del FVHM con solución La Molina.

solución La Molina													
NÚMERO DE CRISOLES	CABRA	PESO DE CRISOLES (g)	PESO DE MUESTRA (g)	PESO MUESTRA + CRISOLES (g)	PESO DE MUESTRA + CRISOLES ESTUFA SECA (g)	PESO DE MUESTRA SECA (g)	% MATERIA ORGÁNICA	MATERIA ORGÁNICA en las heces	% CENIZA	PROMEDIO % CENIZA	% de MO del alimento	% de digestibilidad de la MO	PROMEDIO
65	1	21,5393	0,5464	22,0857	21,6147	0,4710	86,20	13,80	13,80	14,08	95,20	81,12	80,83
66	1	19,9147	0,6095	20,5242	20,0022	0,5220	85,64	14,36	14,36		95,20	80,54	
67	2	20,4828	0,4943	20,9771	20,5553	0,4218	85,33	14,67	14,67	14,67	95,20	80,21	80,21
68	2	22,4907	0,4942	22,9849	22,5632	0,4217	85,33	14,67	14,67		95,20	80,21	
69	3	20,3371	0,4360	20,7731	20,3993	0,3738	85,73	14,27	14,27	13,80	95,20	80,63	81,12
70	3	19,9913	0,4304	20,4217	20,0487	0,3730	86,66	13,34	13,34		95,20	81,61	
71	4	20,7406	0,5333	21,2739	20,8076	0,4663	87,44	12,56	12,56	12,52	95,20	82,42	82,47
72	4	20,8671	0,4662	21,3333	20,9253	0,4080	87,52	12,48	12,48		95,20	82,51	

Cuadro 14A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución FAO.

solución FAO												
Tubo	Cabra	Peso muestra A	Consumo titulación	Vol Blanco	Norm Acido	Peso molecular N	Factor	Proteína % B	PROTEÍNA DIGESTIBLE	nutriente consumido %	% de digestibilidad de nutriente P	Promedio
65	1	0,3087	4,6	0,3	0,1	1,401	6,25	12,20	87,80	13,6	71,91	80,22
66	1	0,2923	4,0	0,3	0,1	1,401	6,25	11,08	88,92		88,52	
67	2	0,3364	5,1	0,3	0,1	1,401	6,25	12,49	87,51	13,6	71,56	80,23
68	2	0,3598	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	10,71	89,29		88,89	
69	3	0,3813	5,5	0,3	0,1	1,401	6,25	11,94	88,06	13,6	72,21	80,08
70	3	0,2929	4,2	0,3	0,1	1,401	6,25	11,66	88,34		87,94	
71	4	0,3325	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	11,59	88,41	13,6	72,63	80,60
72	4	0,3257	4,4	0,3	0,1	1,401	6,25	11,02	88,98		88,58	

Cuadro 15A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución Hoagland.

solución Hoagland.												
Tubo	Cabra	Peso muestra A	Consumo titulación	Vol Blanco	Norm Acido	Peso molecular N	Factor	Proteína % B	PROTEÍNA DIGESTIBLE	nutriente consumido %	% de digestibilidad verdadera	Promedio
49	1	0,3148	3,9	0,3	0,1	1,401	6,25	10,01	89,99	15,5	72,36	81,02
50	1	0,3529	4,3	0,3	0,1	1,401	6,25	9,92	90,08		89,68	
51	2	0,3830	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	11,66	88,34	15,5	70,39	78,96
52	2	0,3193	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	12,07	87,93		87,53	
53	3	0,3316	4,2	0,3	0,1	1,401	6,25	10,30	89,70	15,5	72,02	80,92
54	3	0,3579	4,3	0,3	0,1	1,401	6,25	9,79	90,21		89,81	
55	4	0,3377	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	11,41	88,59	15,5	70,70	79,55
56	4	0,3908	5,3	0,3	0,1	1,401	6,25	11,20	88,80		88,40	

Cuadro 16A. Digestibilidad de la PC del FVHM con solución La Molina.

solución La Molina												
Tubo	Cabra	Peso muestra A	Consumo titulación	Vol Blanco	Norm Acido	Peso molecular N	Factor	Proteína % B	PROTEÍNA DIGESTIBLE	nutriente consumido %	% de digestibilidad de nutriente P	Promedio
57	1	0,3240	5,1	0,3	0,1	1,401	6,25	12,97	87,03	14,8	69,62	77,38
58	1	0,3149	5,5	0,3	0,1	1,401	6,25	14,46	85,54		85,14	
59	2	0,3806	6,9	0,3	0,1	1,401	6,25	15,18	84,82	14,8	66,97	76,19
60	2	0,4074	6,9	0,3	0,1	1,401	6,25	14,19	85,81		85,41	
61	3	0,3664	5,4	0,3	0,1	1,401	6,25	12,19	87,81	14,8	70,56	79,15
62	3	0,3247	4,7	0,3	0,1	1,401	6,25	11,87	88,13		87,73	
63	4	0,3079	4,9	0,3	0,1	1,401	6,25	13,08	86,92	14,8	69,49	78,20
64	4	0,3930	6,0	0,3	0,1	1,401	6,25	12,70	87,30		86,90	

Cuadro 17A. Cálculo de dieta experimental

Requerimientos y Bromatología	
Peso de cabra	25 kg peso vivo
Requerimiento de PC	52 g PC/día
FVHM	14 % PC
Consumo por cabra	1,5 % MS/pv
% de MS solución FAO	20,8 %
% de MS solución Hoagland	25,2 %
% de MS solución La Molina	17,2 %
% de MO solución FAO	94,4 %
% de MO solución Hoagland	97,3 %
% de MO solución La Molina	95,2 %
% de PC solución FAO	13,6 %
% de PC solución Hoagland	15,5 %
% de PC solución La Molina	14,8 %

$25 \text{ kg} \cdot 0,015 = 0,375 \text{ kg MS/día}$

100 gr MS FVHM-----14 g PC

375 gr MS-----x

X= 52,5 gr PC

375 gr MS-----20 %

X-----100 %

=1,875 gr/animal/día FVHM

=1,8 kg de FVHM/día

Cuadro 18A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 0.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,04	0,00	11,92

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	10,61	2	5,30	0,19	0,8284
TRATAMIENTO	10,61	2	5,30	0,19	0,8284
Error	248,30	9	27,59		
Total	258,91	11			

Cuadro 19A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 3.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,04	0,00	3,79

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1,38	2	0,69	0,19	0,8279
TRATAMIENTO	1,38	2	0,69	0,19	0,8279
Error	32,17	9	3,57		
Total	33,55	11			

Cuadro 20A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 6.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,01	0,00	5,79

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,81	2	0,41	0,04	0,9630
TRATAMIENTO	0,81	2	0,41	0,04	0,9630
Error	96,93	9	10,77		
Total	97,74	11			

Cuadro 21A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 9.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,02	0,00	4,73

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1,90	2	0,95	0,11	0,8993
TRATAMIENTO	1,90	2	0,95	0,11	0,8993
Error	79,80	9	8,87		
Total	81,70	11			

Cuadro 22A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 12.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,11	0,00	2,12

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2,29	2	1,15	0,54	0,5983
TRATAMIENTO	2,29	2	1,15	0,54	0,5983
Error	18,96	9	2,11		
Total	21,26	11			

Cuadro 23A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 24.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,14	0,00	2,12

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	4,71	2	2,35	0,75	0,5006
TRATAMIENTO	4,71	2	2,35	0,75	0,5006
Error	28,32	9	3,15		
Total	33,02	11			

Cuadro 24A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 48.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,74	0,69	0,20

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,92	2	0,46	13,10	0,0022
TRATAMIENTO	0,92	2	0,46	13,10	0,0022
Error	0,32	9	0,04		
Total	1,24	11			

Cuadro 25A. Análisis de varianza de la degradación de la MS en tiempo 72.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DE DEGRADACIÓN	12	0,45	0,33	0,08

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,05	2	0,02	3,67	0,0684
TRATAMIENTO	0,05	2	0,02	3,67	0,0684
Error	0,06	9	0,01		
Total	0,10	11			

Cuadro 26A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 0.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,44	0,07	18,85

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	142,52	2	71,26	1,19	0,4175
TRATAMIENTO	142,52	2	71,26	1,19	0,4175
Error	180,37	3	60,12		
Total	322,90	5			

Cuadro 27A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 3.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,95	0,92	3,68

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	225,32	2	112,66	31,32	0,0098
TRATAMIENTO	225,32	2	112,66	31,32	0,0098
Error	10,79	3	3,60		
Total	236,12	5			

Cuadro 28A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 6.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,40	0,00	10,97

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	88,32	2	44,16	0,99	0,4674
TRATAMIENTO	88,32	2	44,16	0,99	0,4674
Error	133,76	3	44,59		
Total	222,09	5			

Cuadro 29A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 9.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,57	0,28	6,44

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	67,37	2	33,68	1,99	0,2814
TRATAMIENTO	67,37	2	33,68	1,99	0,2814
Error	50,71	3	16,90		
Total	118,07	5			

Cuadro 30A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 12.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,94	0,90	2,17

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	110,72	2	55,36	24,81	0,0136
TRATAMIENTO	110,72	2	55,36	24,81	0,0136
Error	6,69	3	2,23		
Total	117,41	5			

Cuadro 31A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 24.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,86	0,77	2,79

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	85,31	2	42,66	9,41	0,0510
TRATAMIENTO	85,31	2	42,66	9,41	0,0510
Error	13,60	3	4,53		
Total	98,91	5			

Cuadro 32A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 48.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,80	0,66	6,70

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	363,17	2	181,58	5,86	0,0920
TRATAMIENTO	363,17	2	181,58	5,86	0,0920
Error	92,93	3	30,98		
Total	456,09	5			

Cuadro 33A. Análisis de varianza de la degradación de la MO en tiempo 72.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,61	0,34	3,19

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	41,27	2	20,63	2,30	0,2479
TRATAMIENTO	41,27	2	20,63	2,30	0,2479
Error	26,90	3	8,97		
Total	68,17	5			

Cuadro 34A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 0.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,10	0,00	2,56

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1,52	2	0,76	0,16	0,8585
TRATAMIENTO	1,52	2	0,76	0,16	0,8585
Error	14,17	3	4,72		
Total	15,69	5			

Cuadro 35A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 3.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,10	0,00	0,97

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,25	2	0,13	0,17	0,8485
TRATAMIENTO	0,25	2	0,13	0,17	0,8485
Error	2,19	3	0,73		
Total	2,44	5			

Cuadro 36A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 6.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,30	0,00	0,87

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,81	2	0,41	0,65	0,5811
TRATAMIENTO	0,81	2	0,41	0,65	0,5811
Error	1,86	3	0,62		
Total	2,68	5			

Cuadro 37A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 9.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,37	0,00	0,77

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,87	2	0,43	0,87	0,5023
TRATAMIENTO	0,87	2	0,43	0,87	0,5023
Error	1,49	3	0,50		
Total	2,36	5			

Cuadro 38A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 12.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,53	0,22	0,43

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,55	2	0,27	1,70	0,3217
TRATAMIENTO	0,55	2	0,27	1,70	0,3217
Error	0,49	3	0,16		
Total	1,04	5			

Cuadro 39A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 24.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,02	0,00	0,32

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,01	2	2,6E-03	0,03	0,9736
TRATAMIENTO	0,01	2	2,6E-03	0,03	0,9736
Error	0,29	3	0,10		
Total	0,30	5			

Cuadro 40A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 48.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,22	0,00	0,08

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	0,01	2	2,6E-03	0,42	0,6903
TRATAMIENTO	0,01	2	2,6E-03	0,42	0,6903
Error	0,02	3	0,01		
Total	0,02	5			

Cuadro 41A. Análisis de varianza de la degradación de la PC en tiempo 72.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DEGRADACIÓN	6	0,12	0,00	0,02

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	1,3E-04	2	6,7E-05	0,20	0,8288
TRATAMIENTO	1,3E-04	2	6,7E-05	0,20	0,8288
Error	1,0E-03	3	3,3E-04		
Total	1,1E-03	5			

Cuadro 42A. Análisis de varianza de la digestibilidad verdadera de la MS con diferentes soluciones

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DIGESTIBILIDAD VER	12	0,90	0,87	2,70

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	412,71	2	206,36	38,62	<0,0001
TRATAMIENTO	412,71	2	206,36	38,62	<0,0001
Error	48,09	9	5,34		
Total	460,80	11			

Cuadro 43A. Análisis de varianza de la digestibilidad verdadera de la MO con diferentes soluciones.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DIGESTIBILIDAD VER	12	0,86	0,82	0,99

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	36,29	2	18,15	26,55	0,0002
TRATAMIENTO	36,29	2	18,15	26,55	0,0002
Error	6,15	9	0,68		
Total	42,45	11			

Cuadro 44A. Análisis de varianza de la digestibilidad verdadera de la PC con diferentes soluciones.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% DIGESTIBILIDAD VER	12	0,67	0,60	1,19

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	16,29	2	8,15	9,17	0,0067
TRATAMIENTO	16,29	2	8,15	9,17	0,0067
Error	8,00	9	0,89		
Total	24,29	11			



Figura 1A. Materiales para fistulación.



Figura 2A. Procedimiento quirúrgico.



Figura 3A. Sutura.



Figura 4A. Colocación de la fístula

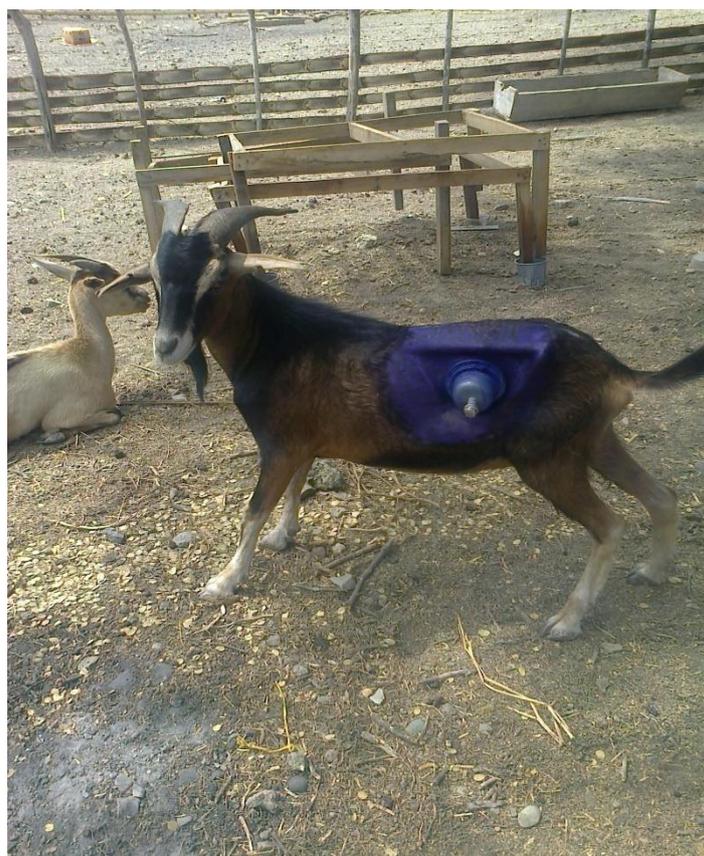


Figura 5A. Cabra fistulada.



Figura 6A. Siembra de forraje.



7A. Etapa de pre-germinación



8A. Etapa de germinación



Figura 9A. FVHM a los 4 días.

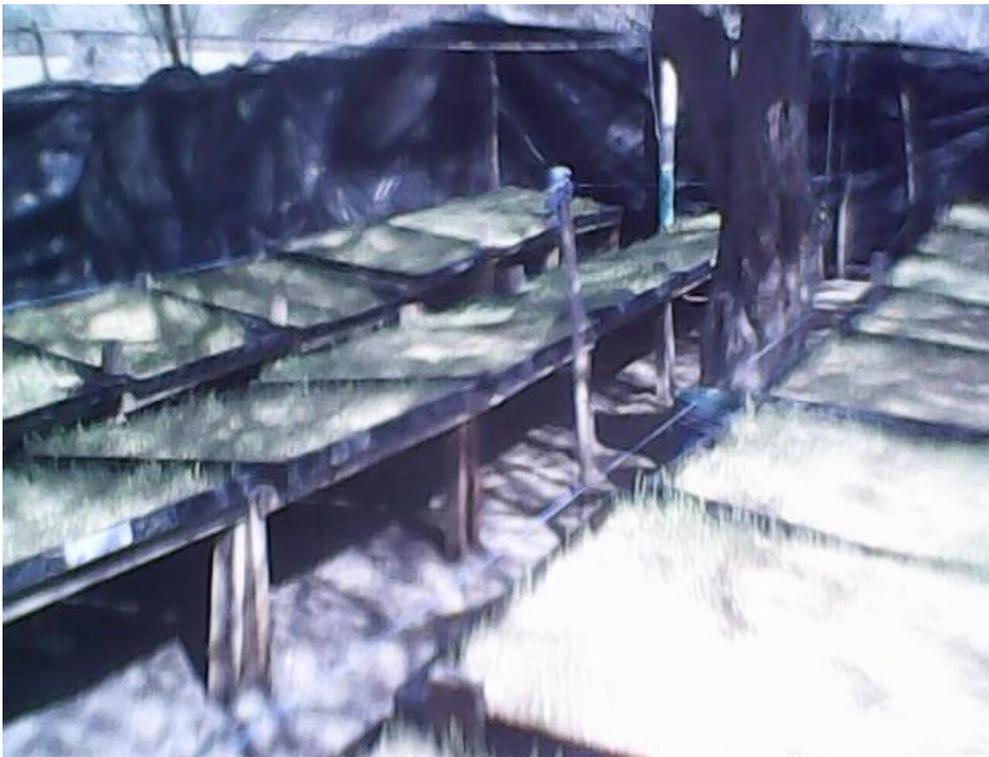


Figura 10A. FVHM a los 6 días.



Figura 11A. Forraje a los 8 días de edad.



Figura 12A. FVHM a los 10 días.



Figura 13A. Forraje a los 12 días de edad.



Figura 14A. Riego del Forraje



Figura 15A. Cosecha del FVHM.



Figura 16A. Adaptación de los animales al FVHM (técnica *in situ*)



Figura 17A. Preparación de las bolsas de nylon con 5 gr de alimento.

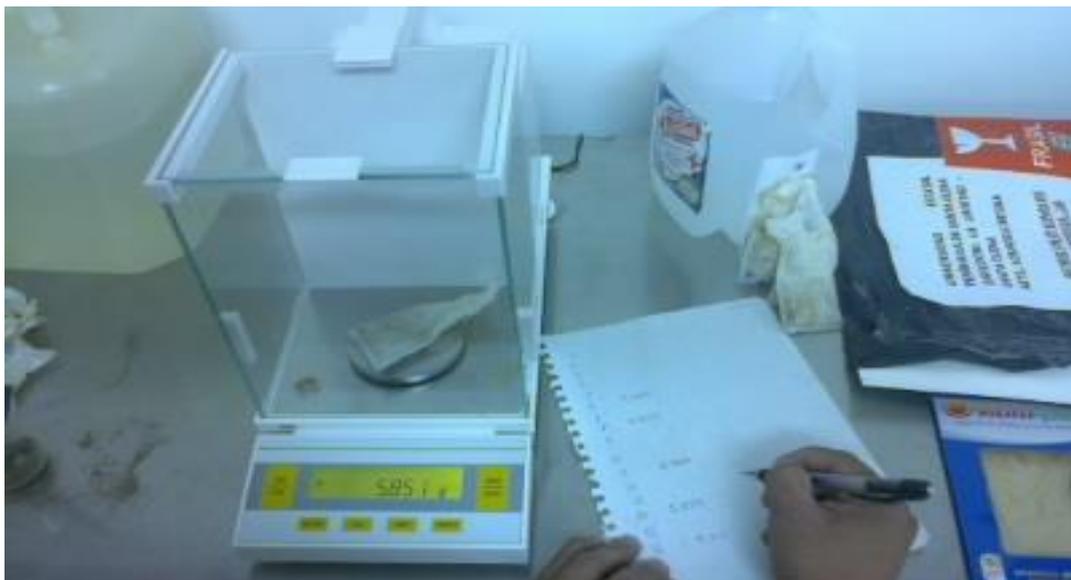


Figura 18A. Peso de las muestras.



Figura 19A. Amarre de las bolsas de nylon.



Figura 20A. Presentación de las muestras antes de ser introducidas al rumen.



Figura 21A. Amarre de las bolsas en la cadena.

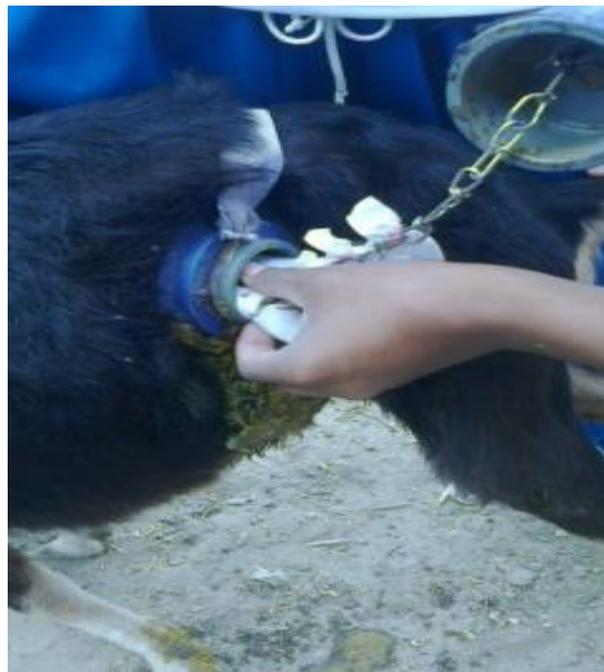


Figura 22A. Introducción de las bolsas en el rumen.



Figura 23A. Extracción de las bolsas del rumen.



Figura 24A. Lavado de las muestras.



Figura 25A. Adaptación de los animales en las jaulas metabólicas



Figura 26A. Adaptación de los animales al FVHM (técnica *in vivo*)



Figura 27A. Recolección de las heces (técnica in vivo).



Figura 28A. Muestras de las heces recolectadas.



Figura 29A. Colocación de las muestras en la estufa.



Figura 30A. Extracción de las muestras *in situ* e *in vivo* en la estufa.