



**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**

**Evaluación de la biomasa hidropónica de maíz como
alimento para caprinos criollos en crecimiento-ceba**

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias

Néstor Vicente Acosta Lozano

**Año 58 de la Revolución
Santa Clara
2016**



**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**

**Evaluación de la biomasa hidropónica de maíz como alimento para caprinos
criollos en crecimiento-ceba**

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias

Aspirante: M.Sc. Néstor Vicente Acosta Lozano

Tutor: Dr. C. Raciél Lima Orozco

**Año 58 de la Revolución
Santa Clara
2016**

PENSAMIENTO

El futuro tiene muchos nombres.
Para los débiles es lo inalcanzable.
Para los temerosos, lo desconocido.
Para los valientes es la oportunidad.

Víctor Hugo

DEDICATORIA

A mi madre, por todo su amor y comprensión.

A mis hijos: Gianella, Néstor, Denisse y Erick.

A María Fernanda, por mantener ese amor latente
y entender mi ausencia en este proceso de superación.

Néstor Acosta Lozano

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece infinitamente a las siguientes personas e Instituciones:

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por darme la ayuda necesaria para emprender una nueva etapa de mi vida.

A la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, República de Cuba, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de estudiar mi doctorado en sus aulas y ampliar mis conocimientos y mi formación profesional.

Al Instituto de Ciencia Animal (ICA), República de Cuba, Departamento de Rumiantes, por escuchar atentamente el contenido de este trabajo y colaborar con las correcciones debidas para la construcción de esta Tesis doctoral.

Al Dr. C. Raciél Lima Orozco, Tutor de mi tesis doctoral, quien además de compartir su tiempo y experiencias profesionales me ofreció su amistad, su hogar y su conocimiento para construir este documento técnico – científico que será de mucha ayuda para productores de caprinos de Santa Elena.

Al Dr. C. Juan Avellaneda Cevallos, mi amigo y compadre, por su ayuda incondicional en la realización de los análisis bromatológicos de este trabajo.

A todos los profesores de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, por compartir sus conocimientos y experticias y además por ser amigos y consejeros para que este trabajo tenga la profundidad científica y técnica requerida.

A Rosalino Pozo Santiana y su señora esposa, mi compadre, fiel colaborador y amigo, por la ayuda incondicional que me dio en el desarrollo de todos los trabajos de campo y

su esposa por aguantar su ausencia sábados y domingos en el largo proceso de recolección de datos en las investigaciones.

Al Sr. Carlos Mirabá, propietario de la Finca “La Sevilla” por prestar sus instalaciones y animales en la realización de esta tesis doctoral, a su hijo Carlos Mirabá Rosales quien obtuvo el título de Ingeniero Agropecuario en uno de los experimentos de esta investigación, por su dedicación y rigor científico en la colección de datos experimentales.

A la Srta. Daniela Orrala Vera, estudiante de Medicina Veterinaria, quien ayudó en la fistulación de los caprinos para la segunda etapa investigativa de esta tesis doctoral.

A Yuinson Suárez Reyes, apreciado estudiante quien obtuvo su título de Ingeniero Agropecuario en la primera etapa de esta tesis doctoral.

A mi familia, Virginia Lozano mi madre preciosa, quien me dio la energía y fortaleza para continuar con mis estudios de doctorado y darme los mejores consejos de mi vida;

A mis hermanos: Rocío, Oscar, Narcisa, Fernando, David, César y Lorena que me impulsaron a seguir adelante aún en los momentos más difíciles de mi vida.

A todas las personas que colaboraron indirectamente en este trabajo doctoral y que por temor a olvidarme de alguien, no los nombro, les agradezco infinitamente.

Néstor Acosta Lozano

ABREVIATURAS

A	Animal
<i>a</i>	Fracción soluble del alimento
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
AI	Alimento ingerido
<i>b</i>	Fracción del sustrato insoluble pero potencialmente degradable
B/C	Relación beneficio/costo
BHM	Biomasa hidropónica de maíz
μmol	Micromol
CD	Coefficiente de digestibilidad
CDR	Coefficiente de digestibilidad real
CEB	Consumo de energía bruta
Cell	Celulosa
cm	Centímetro
CO₂	Anhídrido carbónico
d	Días
DA	Digestibilidad aparente
DC	Días de cosecha
DCA	Diseño completamente aleatorizado
dEB	Digestibilidad de la energía bruta
DER	Degradabilidad ruminal efectiva
DERMS	Degradabilidad ruminal efectiva de la materia seca
<i>div</i>MO	digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica
dMO	Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia orgánica

dMS	Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca
DP	Derivados de purinas
dPB	Digestibilidad <i>in vivo</i> de la proteína bruta
DS	Densidad de siembra
EC	Comisión Europea
ED	Energía digestible
EE	Extracto etéreo
EE±	Error estándar de la media
ELN	Extracto libre de nitrógeno
EM	Energía metabolizable
FB	Fibra bruta
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
g	Gramo
h	Hora
kf	Tasa de degradación en horas
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kp	Tasa de pasaje ruminal
L	Litros
LDA	Lignina detergente ácido
m²	metro cuadrado
MC	Momento de cosecha
HF	Heces fecales
mg	Miligramo
MGL	Modelo general lineal
MJ	Mega Joule
mL	Mililitro

mm	Milímetro
FD_{NM}	Flujo duodenal de nitrógeno microbiano
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
msnm	metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
NH	Nutriente en las heces
NI	Nutriente ingerido
NNP	Nitrógeno no proteico
NRC	Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos de América
°C	grados Celsius
P	valor de P
PB	proteína bruta
PD_a	Derivados de purinas absorbidas en el intestino delgado
PD_e	Derivados de purinas totales excretadas en la orina
PE	Productos endógenos
PI	Peso inicial
PV	Peso vivo
PV^{0,75}	Peso vivo metabólico
t	Tiempo
UI	unidades internacionales

SÍNTESIS

La Península de Santa Elena se caracteriza por tener lluvias esporádicas en el año (entre 100 y 283 mm anuales), lo cual no permite el crecimiento adecuado de pastizales para alimentar rumiantes. En el presente trabajo se evaluó la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas como alimento para caprinos criollos en etapa de crecimiento-ceba. Se demostró que las soluciones nutritivas FAO, Hoagland y La Molina modificaron la producción de biomasa hidropónica de maíz y su valor nutricional, donde la biomasa producida con la solución nutritiva FAO obtuvo los mejores indicadores agronómicos y calidad nutritiva entre los que se destacan la producción de biomasa y proteína anual, la concentración energética, la degradabilidad ruminal y la digestibilidad fecal de los nutrientes, la menor producción de metano y el mayor aporte de nitrógeno microbiano en caprinos criollos. Se concluye que el mejor momento para la cosecha de la biomasa hidropónica de maíz fue a los 12 días después de la siembra y que el grupo de caprinos que consumió como dieta única esta biomasa mostró el mejor comportamiento productivo (84,54 g de ganancia media diaria) y mayor beneficio económico (relación beneficio costa 1:83) que el resto de los animales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	4
Novedad científica.....	4
Importancia teórica.....	4
Importancia práctica.....	5
Aporte científico.....	5
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
1.1. LAS CABRAS: GENERALIDADES Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	6
1.2. CAPRINOS CRIOLLOS.....	6
1.2.1. Hábitos alimenticios y comportamiento de los caprinos.....	7
1.3. BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ.....	8
1.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA.....	8
1.4.1. Selección de semilla.....	8
1.4.2. Lavado y desinfección de semillas.....	9
1.4.3. Germinación.....	9
1.4.4. Riego.....	10
1.4.5. Instalaciones.....	11
1.4.6. Cosecha.....	11
1.5. FACTORES AMBIENTALES Y DE MANEJO QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ.....	11

1.5.1. Luz	11
1.5.2. Humedad ambiental	11
1.5.3. Calidad del agua.....	12
1.5.4. Temperatura, oxígeno y patógenos	12
1.5.5. Potencial hidrógeno y conductividad eléctrica	13
1.6. VALOR NUTRITIVO DE BIOMASAS HIDROPÓNICAS	14
1.6.1. Digestibilidad de la biomasa hidropónica de maíz	17
1.7. ASPECTOS DEL METABOLISMO RUMINAL.....	18
1.7.1. Proteína de sobre paso (by pass).....	18
1.7.2. Actividad de los microorganismos ruminales.....	18
1.8. MÉTODOS PARA ESTIMAR LA DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS..	22
1.8.1. Método directo	22
1.8.1.1. Método <i>in vivo</i>	22
1.8.1.1.1. Ventajas y desventajas	22
1.8.2. Métodos indirectos.....	23
1.8.2.1. Método por "diferencia"	23
1.8.2.1.1. Desventajas con relación al método <i>in vivo</i>	24
1.8.2.1.2. Ventajas con relación al método <i>in vivo</i>	24
1.8.2.2. Método del "Indicador"	24
1.8.2.2.1. Marcadores internos.....	25
1.8.2.2.2. Marcadores externos	26
1.8.2.3. Método " <i>in vitro</i> "	28
1.8.2.3.1. Ventajas y Desventajas	29
1.8.2.4. Método " <i>in situ</i> "	30
1.8.2.4.1. Ventajas y Desventajas	30
1.9. CONSUMO VOLUNTARIO DE RUMIANTES.....	31

1.10. UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES.....	32
1.10.1. Alimentación de rumiantes mayores.....	32
1.10.2. Alimentación de vacas lecheras.....	33
1.10.3. Alimentación de cabras.....	34
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES	35
2.1. UBICACIÓN DE LOS LUGARES EXPERIMENTALES.....	35
2.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ.....	35
2.3. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.....	37
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ.....	38
3.1. INTRODUCCIÓN	38
3.1.1. Objetivo	39
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.3.1. Producción de materia seca y proteína bruta	39
3.3.1. Análisis químico proximal.....	42
3.4. CONCLUSIONES PARCIALES	52
CAPÍTULO 4. DEGRADABILIDAD RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD FECAL DE LA BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ EN CAPRINOS CRIOLLOS.....	53
4.1. INTRODUCCIÓN	53
4.1.1. Objetivo	53
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	54
4.2.1. Producción de metano.....	56
4.2.2. Flujo duodenal de N microbiano	56
4.2.3. Contenido energético	57
4.2.4. Tratamientos y diseño experimental.....	57

4.2.5. Manejo del experimento	58
4.2.5.1. Dietas experimentales.....	58
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.3.1. Consumo voluntario de materia seca y nutrientes básicos	59
4.3.2. Cinética de degradabilidad ruminal	61
4.3.3. Digestibilidad fecal	67
4.3.4. Producción de metano.....	69
4.4. CONCLUSIONES PARCIALES	79
CAPÍTULO 5. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CAPRINOS CRIOLLOS EN CRECIMIENTO-CEBA ALIMENTADOS CON BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ ⁸⁰	
5.1. INTRODUCCIÓN	80
5.1.1. Objetivos.....	81
5.2. MANEJO DEL EXPERIMENTO	81
5.2.1. Manejo de los animales y producción de biomasa hidropónica de maíz.....	81
5.2.2. Dietas experimentales	82
5.3. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	83
5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	88
5.6. CONCLUSIONES PARCIALES	91
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN GENERAL	92
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Valor nutricional de la biomasa hidropónica de maíz producida con tres densidades de siembra y cosechada a 14 días de edad	14
Tabla 2.1. Composición bromatológica de diferentes biomásas hidropónicas. Cartago, Costa Rica.....	15
Tabla 3.1. Rendimiento de la biomasa hidropónica de maíz producida con tres densidades de siembra y cosechadas a 14 días de edad.....	15
Tabla 4.1. Efecto del tipo de fertilización y días a cosecha sobre el rendimiento forrajero y composición química de la biomasa hidropónica de maíz	16
Tabla 5.1. Valor nutritivo de biomasa hidropónica de trigo con diferentes soluciones nutritivas	17
Tabla 1.2. Composición química de las soluciones nutritivas equilibradas Hoagland, La Molina y FAO.....	36
Tabla 1.3. Producción de materia seca y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz, bajo diferentes sistemas productivos	40
Tabla 2.3. Contenidos de materia seca y materia orgánica de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos.....	43
Tabla 3.3. Contenido de extracto etéreo y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos.....	46
Tabla 4.3. Fraccionamiento de fibra de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos	48
Tabla 5.3. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica y energía metabolizable de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos	51

Tabla 1.4. Requerimientos nutricionales y oferta de nutrientes para caprinos, en un kilogramo de materia seca de biomasa hidropónica de maíz	58
Tabla 2.4. Efecto de la biomasa hidropónicas de maíz sobre el consumo voluntario de materia seca, nutrientes básicos y su relación con el peso vivo y metabólico de caprinos criollos	59
Tabla 3.4. Degradabilidad ruminal de nutrientes en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida a 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas	61
Tabla 4.4. Digestibilidad fecal de la materia seca, materia orgánica, proteína bruta y energía bruta de cabras criollas alimentadas con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.....	67
Tabla 5.4. Producción de metano y concentración de ácidos grasos de cadena corta en cabras criollas alimentadas con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas	69
Tabla 6.4. Producción de derivados de purinas y flujo duodenal de nitrógeno microbiano (FD _{NM}) en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.....	73
Tabla 7.4. Balance de nitrógeno en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas	76
Tabla 8.4. Eficiencia en la asimilación de proteína metabolizable en caprinos criollos adultos alimentados con biomasa hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas	78
Tabla 1.5. Bromatología de ingredientes para dietas experimentales	82
Tabla 2.5. Dietas experimentales y sus nutrientes calculados para caprinos criollos en crecimiento-ceba de 20 kg PV y con 100 g de ganancia media diaria	83

Tabla 3.5. Comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con o sin biomasa.....	84
Tabla 4.5. Costo por kg de biomasa hidropónica de maíz, panca de maíz y concentrado comercial para caprinos.....	89
Tabla 5.5. Relación beneficio costo del comportamiento productivo de caprinos criollos en crecimiento-ceba alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz durante un ciclo productivo	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia seca (DERMS) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.....	64
Figura 2.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia orgánica (DERMO) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.....	65
Figura 3.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la proteína bruta (DERPB) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.....	66
Figura 1.5. Incremento de peso vivo en caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz.....	85
Figura 2.5. Requerimientos nutricionales y respuesta animal expresados como porcentaje del requerimiento nutritivo en caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz.	87
Figura 1A. Evolución del crecimiento de plantas de maíz cultivadas en hidroponía durante 18 días.....	123
Figura 2A. Ubicación geográfica de los experimentos.	123

INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL

La Península de Santa Elena (13 msnm), ubicada en la costa del océano pacífico ecuatoriano, se caracteriza por tener condiciones de lluvias esporádicas, en el año aproximadamente entre 100 y 283 mm de precipitación con 64 % de humedad relativa y temperatura promedio de 26 °C acorde a los reportes del INAMHI (2015). Esta situación no permite un crecimiento adecuado de pastizales para alimentación del ganado bovino y caprino; condición agrometeorológica que se repite cada año, y que provoca disminución del desempeño productivo de los animales a través del incremento de abortos, de pérdida de peso vivo, de problemas de fertilidad, de desnutrición, en comparación con otras zonas ecológicas del país (Cruz-Domínguez, 2015).

El manejo extensivo del 87 % del ganado caprino que predomina (77 % pertenece a la raza criolla) en la península de Santa Elena (segunda provincia productora de carne caprina en el Ecuador (Ramos-Tocto, 2010)), ocasiona que los animales busquen alimentos que les proporcione nutrientes recorriendo grandes extensiones de tierra, a pesar de que los mismos no cubren los requerimientos nutricionales diarios (Cruz-Domínguez, 2015); lo descrito redundo en la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan paliar o prevenir estas pérdidas productivas.

Frente a estas circunstancias de déficit alimentario, surge como una alternativa válida, la implementación de un sistema de producción de biomasa hidropónica, este tipo de producción consiste en obtener un alimento fresco a partir de semillas botánicas germinadas en condiciones óptimas y cosechadas entre diez y dieciséis días; tiempo en el cual la planta contiene altos niveles de proteínas que hace que la biomasa pueda

reemplazar en parte los concentrados utilizados para tal fin, con la marcada economía para el ganadero, ya sea a pequeña o gran escala (Sánchez *et al.*, 2001).

Otros autores definen que la biomasa hidropónica de maíz 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, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal (López *et al.*, 2009).

Otra de las ventajas de este sistema de producción de biomasa, es que se logra en condiciones climáticas controladas, disminución de las áreas de superficie para la producción, uso eficiente del agua y la aplicación de soluciones nutritivas que garantizan cubrir las necesidades de nutrientes para esa primera etapa del crecimiento vegetal, proceso que facilita la rápida recuperación de la inversión inicial, unido al ahorro de energía y labores culturales (Bungarin, 1998; Herrera Angulo *et al.*, 2007).

Entre las plantas más utilizadas para este fin se encuentra el maíz (*Zea mays* L.), debido a su disponibilidad de semillas de alta calidad, valor nutricional y altos rendimientos de biomasa; generando un elevado y constante volumen de biomasa hidropónica (Elizondo y Boschini, 2002).

Según Arano (2006) la biomasa hidropónica de maíz resulta suficiente para garantizar el alimento diario de una vaca lechera con niveles de producción entre 16 y 18 kg de leche, además de reducir los costos de alimentación convencional.

De igual modo Howard (2001) y Sánchez *et al.* (2001) afirmaron que en América Latina la producción de biomasa hidropónica de maíz constituye una alternativa de alimentación para los bovinos y otras especies de animales, como la cachama (*Colossoma macropomum*) y otras especies animales.

La producción de biomasa hidropónica de maíz se presenta como una alternativa alimenticia para animales en explotaciones pecuarias en ambientes desérticos o semidesérticos debido a que esta posee alta digestibilidad (>700 g MS/ kg MS) y a que es aprovechada toda la biomasa producida, incluida las raíces (Bedolla-Torres *et al.*, 2015). Al ser un alimento en que su producción permite lograr estabilidad en la ración, su participación en la dieta evita alteraciones digestivas y con ello menor incidencia de enfermedades metabólicas, mejora la fertilidad del ganado y en general todas las ventajas que los animales puedan obtener cuando éstos se encuentran bien nutridos (Gómez, 2007).

En algunos países de América Latina como México, Perú, Colombia, Brasil y Argentina se realizan investigaciones para mejorar la técnica de producción y mostrarla como alternativa para la alimentación de diversas especies animales (Sánchez *et al.*, 2001; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2013; Bedolla-Torres *et al.*, 2015). No obstante, la producción de biomasa hidropónica de maíz con las metodologías existentes ha demostrado ser una herramienta eficiente y útil en la producción animal (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2013; Naik *et al.*, 2014).

Hipótesis

La producción de biomasa hidropónica de maíz con diferentes soluciones nutritivas podría incrementar la disponibilidad de biomasa y su calidad nutricional; así como el comportamiento productivo de caprinos criollos en crecimiento-ceba.

Objetivo general

Evaluar la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas como alimento para caprinos criollos en crecimiento-ceba.

Objetivos específicos

1. Determinar la producción y el valor nutritivo de la biomasa hidropónica de maíz bajo el efecto de tres soluciones nutritivas y tres momentos de cosecha.
2. Estimar la degradabilidad ruminal, digestibilidad de los nutrientes y el balance de nitrógeno en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz.
3. Evaluar el comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz en la etapa de crecimiento-ceba.
4. Definir el beneficio/costo de la biomasa hidropónica de maíz en la alimentación de caprinos criollos en crecimiento-ceba.

Novedad científica

1. Se demuestra el efecto de la biomasa hidropónica de maíz sobre el consumo voluntario, la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia orgánica y la proteína bruta, la eficiencia de utilización del nitrógeno y el desempeño productivo de caprinos criollos en la etapa de crecimiento-ceba.
2. Se utilizan por vez primera pruebas de degradabilidad ruminal y digestibilidad fecal en caprinos criollos para evaluar la biomasa hidropónica de maíz como dieta única.
3. Se informan por primera vez la producción de metano, el flujo duodenal de nitrógeno microbiano y la excreción de derivados de purinas de caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz.

Importancia teórica

1. Analiza las modificaciones que ofrece la aplicación de las soluciones nutritivas en la producción y calidad de la biomasa hidropónica de maíz.
2. Ofrece información, acerca del consumo voluntario, degradación ruminal, productos finales de la fermentación y utilización del nitrógeno en caprinos alimentados con biomasa hidropónica de maíz en condiciones de escasa disponibilidad de forrajes.

3. Se describe el comportamiento productivo de caprinos criollos en crecimiento-ceba alimentados con dietas que incluyen biomasa hidropónica de maíz.
4. Constituye un material de referencia en la formación de profesionales del pregrado y posgrado
5. Se ofrecen conocimientos en los campos de la nutrición y fisiología digestiva de caprinos, así como en la formulación y manejo de dietas para alimentarlos, en condiciones donde la escasez de alimentos constituye uno de los obstáculos para la crianza de estos animales.

Importancia práctica

1. Establece las bases para la formulación de una tecnología que garantice la utilización de la biomasa hidropónica de maíz en la alimentación de caprinos criollos, a la vez que definen su comportamiento productivo.
2. Brinda la posibilidad de suministrar dietas equilibradas desde el punto de vista nutricional y económico para el desarrollo de caprinos en etapa de crecimiento-ceba en condiciones agrometeorológicas adversas (<283 mm de precipitaciones anuales).

Aporte científico

1. Se muestran las modificaciones que ocurren en la disponibilidad y calidad de la biomasa hidropónica de maíz con aplicación de soluciones nutritivas, su efecto en el consumo voluntario, la degradabilidad y el balance de nitrógeno en caprinos.
2. Se estandarizan por primera vez, en el campo de la fisiología digestiva y nutrición animal, métodos y/o procedimientos analíticos y de campo en los laboratorios y unidades experimentales del Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, que pueden ser empleados en otras investigaciones.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Las cabras: generalidades y distribución geográfica

El censo mundial caprino del período 2010-2014 reveló un crecimiento poblacional en el orden del 1,1 %, mientras que el censo para ganado ovino y bovino del mismo período mostró un crecimiento en el orden de 2,0 y 2,5 %, respectivamente. En la actualidad se estima que existen más de 1 006,79 millones de cabezas caprinas de las cuales el 58,2 % se localiza en Asia; el 36,2 % en África; el 3,5 % en América; el 1,7 % en Europa y el 0,4 % en Oceanía (FAOSTAT, 2014).

Es importante señalar que el 86 % del total de caprinos se localizan en países pobres, de bajos ingresos y con déficit alimentario, lo que ratifica el importante papel que juega la especie caprina para atenuar la hambruna, mejorar la economía, la disponibilidad de alimentos e incidir en el mayor aprovechamiento de áreas con pocos recursos forrajeros, (Lores-Correa, 2013).

Según MAGAP (2016), en el Ecuador existen 178 367 caprinos, de los cuales el 85,02 % se encuentra en la Región Sierra; el 14,55 % en la Región Costa; el 0,27 % en la Región Amazónica y el 0,14 % en la Región Insular o Galápagos.

1.2. Caprinos criollos

Según Dickson y Muñoz (2005), esta raza o genotipo caprino es producto de la combinación de razas europeas y africanas introducidas por Colón en su segundo viaje a las Américas y dejadas en la Isla La Española (hoy día Haití y República Dominicana), desde donde se diseminaron a casi todo el resto del continente, por lo tanto, se encuentra desde el sur de los Estados Unidos hasta Perú.

De acuerdo a Poli *et al.* (2005), este genotipo es considerado pequeño, de 30 a 45 kg y su producción de carne y leche es muy baja (250 a 300 gr/leche/día) con lactancias de 90 a 120 días. Su color es variado, pudiendo ir desde blanco hasta negro, con cualquier color intermedio o combinaciones de estos. Su pelo es corto y sus orejas varían de cortas a medianas. Además, Ramos-Tocto (2010) afirma que las hembras y los machos poseen cuernos, son muy prolíficas (por lo general dos partos por año), con promedios de 1,6-1,8 crías por parto y muy resistentes a las enfermedades.

1.2.1. Hábitos alimenticios y comportamiento de los caprinos

Los caprinos en pastoreo comparados con otros rumiantes, según Dickson y Muñoz (2005) son más selectivos en el alimento, por esta razón caminan largas distancias que le permita conseguir una mayor variedad y tipos de vegetación, que por lo general no son consumidos por otros rumiantes; además los caprinos son más eficientes para digerir forrajes de baja calidad. Estos factores favorecen la producción de caprinos en áreas de baja disponibilidad de forrajes. De la misma manera, Cruz-Domínguez (2015) señala que la eficiencia digestiva de la cabra varía de acuerdo a la raza, localización geográfica y nivel de proteína en la dieta. Normalmente se asume que el valor nutritivo de los alimentos para los bovinos son iguales al de los ovinos y caprinos; sin embargo algunas investigaciones indican que la cabra es más eficiente en la digestión de la fibra bruta (Fernandez *et al.*, 2006).

Según Deza *et al.* (2007), los caprinos se adaptan y producen en ambientes muy variados, pero es en los ambientes áridos y semiáridos donde manifiestan su verdadero potencial, transformando los montes y malezas en productos de alto valor biológico. Además estos mismos autores señalan que las cabras utilizan ambientes sin aptitud agrícola o ganadera bovina debido a que seleccionan la dieta; ramonean y pastorean; resisten la deshidratación por su bajo recambio hídrico, soportan temperaturas elevadas,

reciclan el nitrógeno endógeno urinario, esto permite una gran sobrevida y producción acorde a los escasos recursos.

1.3. Biomasa hidropónica de maíz

La biomasa hidropónica de maíz es un alimento de rápido crecimiento y alta producción de biomasa, de alta digestibilidad, rico en nutrientes, altas concentraciones de proteínas y minerales, y que favorece el aumento de peso corporal de los animales que la consumen. Además,, se cultiva todo el año, es un alimento económico para la cría de ganado especialmente en la producción de leche cuya economía depende principalmente de la disponibilidad de forrajes verdes nutritivos (López-Acosta *et al.*, 2011).

Según Espinoza *et al.* (2007) la biomasa hidropónica de maíz es un alimento de alto valor nutricional, considerado como un suplemento alimenticio para el ganado en zonas áridas y semiáridas, donde los animales transcurren por periodos de subnutrición en diferentes etapas de la vida. Esta tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de plántulas y con la utilización de semillas de alta (75 %) germinación (Naik *et al.*, 2014), puede constituir una opción a los métodos convencionales de producción de forraje, para garantizar la sostenibilidad ganadera en las zonas de escasa producción de alimento (Sánchez *et al.*, 2001).

1.4. Producción de biomasa hidropónica

1.4.1. 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 (Pérez, 1999). Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir biomasa hidropónica de maíz con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación que garantice la producción (Sánchez-Laiño *et al.*, 2010). Si los costos son convenientes, se deben utilizar las semillas producidas en fincas de la

región con humedad máxima del 12 %, libres de plagas y enfermedades (Pérez, 1999; Sánchez *et al.*, 2010). No se deben emplear semillas tratadas con fungicidas, la elección de una buena semilla proporcionará el éxito en la producción de biomasa hidropónica de maíz, esto se apreciará en su calidad organoléptica y bromatológica (Fazaeli *et al.*, 2012).

1.4.2. Lavado y desinfección de semillas

Según Howard (2001) con la finalidad de asegurar una semilla viable, se sumerge la semilla en un tanque de agua con el objetivo de retirarle todo tipo de impurezas (lanas, basura, granos partidos) que no fueron eliminadas durante la selección.

Para el lavado y desinfección de las semillas según Adum (2013) se plantean los siguientes pasos: lavar bien las semillas aprovechando ese momento para separar los granos que floten (no germinarán); sumergir las semillas en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (10 mL hipoclorito de sodio por cada litro de agua) durante un minuto, para luego retirarla y enjuagar las semillas con abundante agua limpia (eliminar restos de cloro). Colocar las semillas en una bolsa de tela (yute, algodón, liencillo) y sumérgalas en un tanque plástico, con agua limpia, por seis horas, seguidamente sacar la bolsa con las semillas y espárzalas en un mesón limpio por una hora (bajo sombra), inmediatamente, vuelva a colocar las semillas en la funda y nuevamente sumérgalas en el tanque, con agua limpia, por seis horas más, pasado este tiempo, se vuelven a orear en un mesón por tres horas y luego ponerlas en un bidón plástico con tapa, sin agua por 48 horas.

1.4.3. Germinación

Las condiciones determinantes para la germinación de las semillas 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 permite que la semilla se hinche, hasta el extremo de rasgar la envoltura externa. El oxígeno absorbido proporciona a la semilla la energía necesaria para iniciar el crecimiento (Caballo, 2000).

Según lo planteado por Navarrete (2008), la germinación inicia desde el momento en que se somete la semilla a hidratación, donde las enzimas se movilizan invadiendo el interior de las semillas y ocurre una disolución de las paredes celulares para posteriormente liberarse granos de almidón que son transformados en azúcares.

1.4.4. Riego

A partir del momento de la siembra se debe regar con la finalidad de que la bandeja no pierda humedad, los riegos son variables dependiendo de la etapa de crecimiento de la planta 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, para regar por micro aspersores o con atomizadores por aspersión (León, 2005). De no disponer de los recursos anteriores, el riego se aplicará con baldes con orificios en el fondo, y se realizará con una frecuencia entre 5 y 8 riegos/día (Pérez, 1999).

Una vez dispuestas las semillas en las naves de producción, las bandejas serán humedecidas constantemente con agua, a la que se añadirá una pequeña parte de nutrientes, es conveniente que la aplicación de esta solución se haga con un aparato humidificador; pero puede realizarse manualmente con un rociador dependiendo del tamaño de la instalación, por cada kilogramo de semilla se utilizará un promedio de dos litros de agua con nutrientes, tres días antes de la cosecha hay que regar solamente con agua natural, pues esto hará que no existan restos de sales en la biomasa (Rodríguez-Delfín y Chang, 2012).

1.4.5. Instalaciones

Según Fazaeli *et al.* (2012), la producción de biomasa hidropónica de maíz puede realizarse en cualquier sitio, como cuarto o galpón en desuso e incluso en un sótano, pero manteniendo siempre las condiciones de higiene y control. Según estos autores, las dimensiones estarán en correspondencia con la producción de biomasa requerida y el número de animales a alimentar.

1.4.6. Cosecha

La cosecha es la culminación del proceso, momento en que las plántulas han alcanzado una altura entre 14 y 18 cm, y formado una alfombra de pasto verde con un colchón radicular blanco y consistente (debido a la alta densidad de siembra) que está apta para ofertársela a los animales (Rodríguez *et al.*, 2003; Navarrete, 2008).

1.5. Factores ambientales y de manejo que influyen en la producción de biomasa hidropónica de maíz

1.5.1. Luz

De acuerdo a León (2005), la luz es un factor indispensable para el buen desarrollo de la planta, pues es la energía que necesitan para realizar la fotosíntesis, se requiere un promedio de nueve a doce horas de luz por día, como también un periodo de descanso por las noches. Esta situación del fotoperiodo influye sobre el desarrollo vegetativo, aunque la luz solar no debe ser excesiva, porque podría causar daños foliares a las plantas principalmente en las bandejas superiores.

1.5.2. Humedad ambiental

Para Gilsanz (2007), la humedad ambiental es de gran importancia para procurar condiciones de asimilación adecuada en las plantas, ya que ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las hojas, debe haber una humedad entre 65 y 80 % para asegurar un adecuado crecimiento del sistema radicular. Esta humedad se logra con el

control del riego y la evapotranspiración, si persiste la humedad existe el riesgo que proliferen enfermedades por hongos y las raíces pueden morir y esto repercute notablemente en su producción.

1.5.3. Calidad del agua

Teniendo en cuenta los criterios de Gilsanz (2007), en los sistemas hidropónicos la calidad del agua desde el punto de vista químico y microbiológico es esencial, el agua deberá estar libre de contaminantes microbianos y con bajos contenidos de sales. Los niveles elevados (> 30 mg/L) de calcio, magnesio, sodio o cloro podrían ser tóxicos para las plantas. En este mismo sentido Lara-Herrera (1999) manifestó que en Europa y Norteamérica, al agua disponible para preparar las soluciones nutritivas se le denomina "dura"; esto significa que contiene niveles elevados de calcio, magnesio y bicarbonatos, lo que presenta problemas porque la concentración normal de nutrientes de las soluciones nutritivas al ser combinadas con los existentes en el agua se incrementan y pierden el balance requerido.

1.5.4. Temperatura, oxígeno y patógenos

Según Barry (2000), las soluciones nutritivas hidropónicas contienen todos los minerales que la planta necesita. Los factores más importantes para su utilización son: **La temperatura** de la solución nutritiva debe estar entre 18 y 25 °C ya que aparte de los efectos directos sobre el crecimiento de la planta también lo ejerce sobre el sistema radicular. Si la temperatura de la solución es muy fría o muy caliente, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también, afectando la producción (Llanos-Peada, 2001).

De la misma manera Fazaeli *et al.* (2012), informan que la temperatura del agua o de la solución nutritiva es importante porque determina la cantidad de **oxígeno** que puede estar disuelto dentro de la mezcla, el agua o una solución nutritiva fría pueden disolver

más oxígeno que una caliente, las raíces como cualquier órgano vivo necesitan oxígeno para funcionar apropiadamente, tienen la función de transportar nutrientes y acumular elementos dentro del sistema celular, el oxígeno al oxidar los minerales, se convierte en el catalizador para generar energía metabólica, de lo contrario, aunque se aporten los nutrientes adecuados, se tendrá un cultivo precario o podrían morir las raíces (León, 2005).

Para Llanos-Peada (2001), mantener oxigenada el agua o una solución nutritiva es fundamental, evita el crecimiento de **patógenos**. La enfermedad más común, para cultivos hidropónicos es el *Pythium*. Este hongo inicialmente torna las raíces marrones, conforme la enfermedad progresa las raíces mueren y se rompen. Un factor común en la mayoría de las infestaciones es el bajo nivel de oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Barry, 2000).

1.5.5. Potencial hidrógeno y conductividad eléctrica

Lopez *et al.* (2012), informan que el pH y la conductividad eléctrica de una solución nutritiva deben ser revisados todos los días. El pH sirve para medir el grado de acidez de una solución nutritiva, la planta se comporta mejor si la solución es ligeramente ácida (5,5 a 6,5); fuera de este rango algunos minerales, aunque estén presentes en la solución, no estarán disponibles para ser absorbidos por las raíces. Si el pH de la solución está distante del rango recomendado, algunos de los minerales de la solución nunca estarán disponibles para la planta (Quispe, 2013; Bedolla-Torres *et al.*, 2015).

Por otra parte Contreras-Paco *et al.* (2008) manifiestan que la conductividad eléctrica de una solución nutritiva es una medida de fuerza de la solución. Los niveles recomendados para todos los cultivos han ido descendiendo progresivamente en los últimos años de 3,0 a 1,8 mS/cm en experimentos meritorios, para encontrar niveles satisfactorios de conductividad eléctrica.

1.6. Valor nutritivo de biomásas hidropónicas

López *et al.* (2009), publicaron el valor nutricional de la biomasa hidropónica de maíz (Tabla 1.1) utilizando tres densidades de siembra. Los parámetros bromatológicos fueron iguales a excepción de la proteína bruta y fibra detergente neutro, la composición energética de las biomásas hidropónicas estudiadas indican parámetros aceptables de calidad nutricional ya que según la NRC (2001) y Lima Orozco (2011) alimentos con contenidos energéticos que superan los 10 MJ/kg MS poseen valor energético aceptable para rumiantes.

Tabla 1.1. Valor nutricional de la biomasa hidropónica de maíz producida con tres densidades de siembra y cosechada a 14 días de edad

Variable (%)	Densidad de siembra (kg/m ²)		
	1.5	2.0	2.5
Proteína bruta	14,5 ±0,5 ^a	15,2 ±0,6 ^b	15,8 ±0,9 ^b
Energía bruta (MJ/kg MS)	16,3 ±0,3	17,2 ±0,5	17,6 ±0,6
Energía metabolizable (MJ/kg MS)	10,0 ±0,3	10,5 ±0,5	10,5 ±0,6
Fibra detergente neutro	31,6 ±2,1 ^b	28,7 ±1,9 ^a	28,5 ±1,5 ^a
Lignina	6,9 ±1,3	6,4 ±1,2	6,1 ±1,8
Celulosa	22,6 ±2,9	21,8 ±1,7	21,8 ±1,7
Materia seca	20,7 ±1,9	20,9 ±2,1	21,8 ±2,0
Ceniza	6,8 ±1,4	6,7 ±1,2	6,9 ±2,2
Digestibilidad <i>in vivo</i> de la materia seca	64,3 ±3,1	66,5 ±2,8	66,7 ±2,6

Letras diferentes en la misma fila difieren para $P < 0,05$

Fuente: López *et al.* (2009).

En otros trabajos, Vargas-Rodríguez (2008) presentó el valor nutritivo de tres especies de gramíneas cultivadas bajo hidroponía donde la biomasa hidropónica de maíz presentó los mejores parámetros bromatológicos seguida de la biomasa hidropónica de sorgo y arroz, respectivamente (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Composición bromatológica de diferentes biomásas hidropónicas. Cartago, Costa Rica

Bromatología (%)	Maíz	Arroz	Sorgo
Materia seca	15,82 ^a	11,54 ^b	11,48 ^b
Proteína bruta	7,92 ^a	9,61 ^b	10,47 ^c
Cenizas	9,17 ^a	2,41 ^b	6,54 ^c
Fibra detergente neutro	58,25 ^a	43,13 ^b	66,66 ^c
Celulosa	27,76 ^a	11,21 ^b	30,96 ^a
Hemicelulosa	19,82 ^a	24,25 ^a	21,42 ^a
Lignina	10,67 ^{ab}	7,67 ^b	14,28 ^a
Fibra detergente ácido	38,54 ^a	18,89 ^b	45,17 ^c

Letras diferentes en la misma fila difieren para $P < 0,05$

Fuente: Vargas-Rodríguez (2008).

López *et al.* (2009), publicaron el rendimiento de la biomasa hidropónica de maíz producida con tres densidades de siembra y cosechadas a 14 días de edad (Tabla 3.1), la producción fue directamente proporcional a la densidad de siembra alcanzando 4,62 kg de materia seca producida por cada metro cuadrado.

Tabla 3.1. Rendimiento de la biomasa hidropónica de maíz producida con tres densidades de siembra y cosechadas a 14 días de edad

Densidad de siembra (kg/m²)	kg BHM/m²	kg MS/m²
1,5	12,95 ± 0,75 ^a	2,68 ± 0,32 ^a
2,0	18,75 ± 1,05 ^b	3,92 ± 0,44 ^b
2,5	21,20 ± 0,95 ^c	4,62 ± 0,37 ^c

Letras diferentes en la misma columna difieren para $P < 0,05$; **BHM:** biomasa hidropónica de maíz; **MS:** materia seca

Fuente: López *et al.* (2009).

De la misma manera Salas-Pérez *et al.* (2010), publicaron el efecto de la fertilización y días a la cosecha sobre el rendimiento forrajero y composición química de la biomasa

hidropónica de maíz, donde utilizaron dos tipos de fertilización más un testigo y tres tiempos de cosecha. Los resultados determinaron que utilizando el té de compost y cosechando a los 12 días se obtuvieron las mejores producciones (kg/m²) y el mejor valor nutritivo anual.

Tabla 4.1. Efecto del tipo de fertilización y días a cosecha sobre el rendimiento forrajero y composición química de la biomasa hidropónica de maíz

Parámetro (% base seca)	Tipo de fertilización			Días de cosecha		
	Té de compost	Solución nutritiva	Agua potable	12	14	16
BHM (kg/m ²)	27,22 ^a	26,41 ^a	21,02 ^b	16,49 ^c	24,42 ^b	33,74 ^a
Materia seca	18,67 ^a	18,82 ^a	17,98 ^b	15,79 ^c	18,13 ^b	21,55 ^a
Proteína bruta	13,00 ^a	13,25 ^a	12,23 ^b	15,04 ^a	12,80 ^b	10,63 ^c
Fibra detergente ácido	13,18 ^a	11,88 ^b	11,45 ^b	10,08 ^c	12,03 ^b	14,40 ^a
Fibra detergente neutro	41,92 ^a	42,13 ^a	39,07 ^b	38,26 ^c	41,34 ^b	43,52 ^a
Extracto etéreo	2,77 ^a	2,81 ^a	2,09 ^b	3,36 ^a	2,41 ^b	1,90 ^c

Letras diferentes en la misma fila dentro de cada parámetro denotan diferencias para $P < 0,05$.

Fuente: Salas-Pérez *et al.* (2010).

En otras investigaciones Maldonado-Torres *et al.* (2013), utilizando la solución nutritiva de Steiner (1966) citado por Juárez-Hernández *et al.* (2006) en la fertilización de plantas de trigo variedad Rebeca F200 y con cosechas de 15 días de edad obtuvieron biomásas hidropónicas con aceptable valor nutritivo (Tabla 5.1).

Así mismo Morales-Rodríguez *et al.* (2012), presentaron resultados de su investigación: biomasa hidropónica de maíz, con diferentes niveles de nutrientes en el riego 0, 25, 50, 75 y 100 % utilizando la solución nutritiva propuesta por Lara-Herrera (1999) y tres tiempos de cosecha: 8, 10 y 12 días; sembraron un kg de maíz amarillo Dekalb® híbrido

DK 2020 y los resultados obtenidos fueron: producción de biomasa hidropónica de maíz 5.27 kg con solución nutritiva al 75 % en base húmeda.

Tabla 5.1. Valor nutritivo de biomasa hidropónica de trigo con diferentes soluciones nutritivas

Tratamientos	Materia seca	Cenizas	Fibra bruta	Proteína bruta
	(%)			
Control	9,93 ^{ab}	2,95 ^b	66,15 ^a	15,30 ^{bc}
1	9,38 ^{ab}	4,05 ^a	62,58 ^{ab}	18,58 ^a
2	9,73 ^{ab}	3,92 ^a	64,63 ^{ab}	19,00 ^a
3	9,18 ^b	3,90 ^a	57,95 ^{ab}	17,90 ^{ab}
4	10,55 ^{ab}	3,47 ^{ab}	64,35 ^{ab}	16,75 ^{abc}
5	12,25 ^b	2,75 ^b	54,93 ^b	14,33 ^c

Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias para $P < 0,05$.

Fuente: Maldonado-Torres *et al.* (2013).

1.6.1. Digestibilidad de la biomasa hidropónica de maíz

Herrera Angulo *et al.* (2007), en su investigación “degradabilidad y digestibilidad de la materia seca de la biomasa hidropónica de maíz (*Zea mays*), respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso”, obtuvieron que la degradabilidad ruminal de la MS considerando el sustrato de cascarilla de arroz donde se produjo, a las 48 horas fue del 42,2 %, que a decir de estos autores debido a la alta concentración de lignina presente en este sustrato (43,42 %).

Cerrillo-Soto *et al.* (2012), investigaron la producción de biomasa, el valor nutricional y la composición química (MS, PB, EE, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa, lignina) de la biomasa hidropónica de maíz, trigo y avena. Estudiaron tres densidades de siembra, dos especies y dos momentos de cosecha. Los resultados indicaron que con la avena a 12 días de cosecha obtuvieron 8 kg/m² de biomasa con 19 % MS, mientras que el trigo en el mismo tiempo produjo 7 kg/m² de biomasa con 16,5 % MS, llegando a la conclusión

que las variables nutricionales consideradas en su trabajo experimental ofrecieron condiciones de buena calidad nutritiva. Según estos propios autores, el contenido de proteína, los componentes estructurales, la energía metabolizable y los parámetros de fermentación ruminal, así como la alta producción de biomasa, le confieren a este tipo de forraje no convencional, características deseables para la alimentación animal.

Herrera-Torres *et al.* (2010), investigaron el efecto del tiempo de cosecha (8, 10 y 12 días después de la germinación) sobre el valor proteico y energético de la biomasa hidropónica de maíz y de trigo. Los resultados indicaron que la mayor concentración de PB se observó el día 10 (21,49 %), mientras que las concentraciones de FDN y FDA se incrementaron conforme avanzó la edad de cosecha. La degradación de la fracción soluble de la MS fue mayor el día 8 y disminuyó al aumentar la edad de cosecha, mientras que la fracción lentamente degradable aumentó con esta.

1.7. Aspectos del metabolismo ruminal

1.7.1. Proteína de sobre paso (*by pass*)

Según Lima *et al.* (2011), la proteína que llega al intestino delgado del rumiante se deriva de tres fuentes (a) proteína de la dieta que ha escapado de la degradación por parte de los microbios del rumen; (b) proteína contenida en células bacterianas y protozoarias que fluyen fuera del rumen; y (c) proteínas endógenas contenidas en células necróticas y secreciones en el abomaso y el intestino. Las proteasas pancreáticas e intestinales descomponen estas formas de proteína de modo que los aminoácidos y los péptidos puedan ser absorbidos en el intestino delgado.

1.7.2. Actividad de los microorganismos ruminales

Existen tres entornos de interconexión en el que los microbios se encuentran en el rumen. La primera es la *fase líquida*, en donde los grupos microbianos libres en el fluido ruminal se alimentan de carbohidratos solubles y proteínas. Esta porción

constituye aproximadamente el 25 % de la masa microbiana (Galindo *et al.*, 2011). La segunda es la *fase sólida* donde los grupos microbianos asociados o sujetos a partículas de alimentos digieren polisacáridos insolubles, tales como el almidón y la fibra, así como las proteínas menos solubles. Esto puede constituir hasta un 70 % de la masa microbiana, en la última fase, el 5 % aproximadamente de los microbios existentes en el rumen se sujetan a las células del epitelio del rumen o a los protozoos (Fernandez *et al.*, 2006).

A fin de que las bacterias mantengan su número en el rumen, es necesario que su tiempo de reproducción sea inferior a la tasa de actividad del contenido ruminal, dado que la tasa de pasaje de la fase particulada es mucho más lenta que la de la fase líquida en el rumen, especies de lento crecimiento se sujetan a la materia particulada y así evitan ser llevadas fuera del rumen (Fievez *et al.*, 2001).

Otra función importante de los microbios del rumen es la síntesis de proteína microbiana, el valor biológico de la proteína microbiana es de 66 a 87 %; la proteína de la dieta puede ser mejorada o reducida en su valor biológico por los microbios del rumen, dependiendo de la calidad de proteína que se está entregando; la mayoría de las bacterias del rumen pueden utilizar nitrógeno amoniacal como fuente de nitrógeno, algunas especies de bacterias requieren compuestos adicionales de nitrógeno tales como proteína intacta o cadenas de carbono de ciertos aminoácidos para un crecimiento más eficaz (Galindo *et al.*, 2011)

Según García *et al.* (2007), el amoníaco es derivado en el rumen a través de la degradación microbiana de la proteína y el nitrógeno no proteico de la dieta, de la hidrólisis de la urea reciclada hacia el rumen y de la degradación de proteína cruda microbiana, el amoníaco del rumen desaparece de éste en diferentes formas, tales como la incorporación del nitrógeno por los microbios, su absorción a través de la pared del

rumen y su salida hacia el omaso. En el mismo sentido Golshani *et al.* (2008) menciona que el amoníaco que no es capturado por los microbios es directamente absorbido a través de la pared del rumen, la tasa de absorción depende del pH del ambiente ruminal y la concentración de amoníaco, la absorción es rápida a un pH de 6.5 o superior, disminuye casi a cero a un pH de 4.5 y se incrementa a medida que aumenta la concentración ruminal. De la misma manera Grainger *et al.* (2007) informan que existen indicios de toxicidad con amoníaco cuando en la concentración ruminal pasa los niveles de 100 mg/dl, pH ruminal sobre 8 y concentraciones plasmáticas de amoníaco sobre 2 mg/dl.

El rumiante depende de la proteína microbiana sintetizada en el rumen y de la proteína de la dieta que se salva de la digestión en el rumen (*by pass*) para su abastecimiento de aminoácidos. La proteína microbiana es de alta calidad, compitiendo con la proteína animal y excediendo a muchas de las proteínas vegetales en el contenido de aminoácidos esenciales; sin embargo, los microbios del rumen no pueden producir todos estos aminoácidos esenciales requeridos para el crecimiento de los animales y los elevados niveles de producción de leche (Hegarty *et al.*, 2007).

Los aminoácidos son absorbidos y utilizados en el intestino delgado y son empleados en las síntesis de proteínas del cuerpo, tales como músculo y proteínas de la leche, algunos aminoácidos, especialmente aquellos que provienen de las reservas de proteínas en el tejido corporal, pueden ser utilizados para conservar los niveles de glucosa en la sangre y satisfacer las necesidades de energía (Chay *et al.*, 2009).

La ingesta de proteína *bypass* o no degradable en rumen, debería variar entre 35 y 40 % para la lactancia temprana (alta producción de leche, 36 litros/día); prestando mucha atención al perfil de los aminoácidos de las fuentes de proteína *bypass*, ayudará a proporcionar los aminoácidos esenciales en la dieta, el suministro adecuado de proteína

degradable es necesario para que haya suficientes niveles de amoníaco en el rumen para satisfacer las necesidades de nitrógeno de los microbios (Costa *et al.*, 2008).

Según Foster *et al.* (2009), se pueden describir detalladamente las fracciones proteicas cuando se utiliza el sistema de detergente para el análisis de las proteínas a través del buffer borato, estas son identificadas como fracción A (amoníaco, nitratos, aminoácidos y péptidos), fracción B1 (globulinas y algunas albúminas), fracción B2 (principalmente albúminas y glutelinas), fracción B3 (prolaminas) y fracción C (productos Maillard, ligados a lignina). Además señalan estos autores que la fracción A de la proteína se degrada en el rumen instantáneamente sin que ninguna porción llegue al intestino delgado; pequeñas cantidades de la fracción B1 llegan hasta la parte inferior del tracto digestivo con la digestibilidad intestinal completada; las fracciones de proteína no degradable se componen de cantidades variables de B2 (30 a 70 %) y la mayor parte de B3; y, la fracción C elude la totalidad del sistema digestivo; el calor agregado o generado durante el procesamiento de algunos granos y subproductos aumenta la proteína *bypass* dado que las globulinas y las albúminas en la fracción B1 son desnaturalizadas y se encuentran entonces en la fracción B2 o B3.

Para Gabler y Heinrichs (2003), el uso eficiente del nitrógeno derivado de la fracción de la proteína degradable está en función de la velocidad en que la energía y el nitrógeno lleguen a ser disponibles para el crecimiento de los microbios, es vital que estos dos indicadores estén estrechamente coordinados para determinar el mayor uso eficiente del nitrógeno amoniacal en el rumen. En este sentido Monllor-Guerra (2012), informó que el nivel de carbohidratos no fibrosos en la ración y la velocidad de degradación, son los principales factores que influyen en la eficiencia del aprovechamiento del nitrógeno amoniacal del rumen por los microorganismos, si el nivel es muy bajo (< 35 %), el suministro de una dieta aún con el nivel mínimo recomendado de proteína degradable

(12-13 %) puede resultar en niveles sanguíneos de nitrógeno ureico más allá de lo deseable (200 mg/L).

1.8. Métodos para estimar la digestibilidad de los alimentos

Las pruebas de digestibilidad permiten estimar la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo quedando disponibles para el animal (Church y Pond, 1994). Para determinar la digestibilidad de los alimentos se han propuesto diversos métodos, los mismos que están clasificados como directos e indirectos.

1.8.1. Método directo

1.8.1.1. Método *in vivo*

Según Tobal (1999), el método *in vivo*, también denominado de digestibilidad aparente por colección total de heces fecales es el que mide más exactamente la digestibilidad de un alimento, aunque presenta un leve sesgo respecto a la digestibilidad real debido al material endógeno que se elimina a través de las heces.

De la misma forma Lachmann y Araujo-Febres (2008), indicaron que el uso de este método es laborioso e implica algunas restricciones al manejo ordinario de animales en producción, haciéndose necesaria la evaluación y validación de técnicas que permitan estudiar diferentes materiales, aun cuando se considera a los forrajes la fuente de alimentos más económica para los rumiantes.

A continuación Tobal (1999) presenta una serie de ventajas y desventajas de este método.

1.8.1.1.1. Ventajas y desventajas

- Es un método relativamente exacto pero demora mucho tiempo, poco práctico.
- El método *in vivo* es sin duda el que da la mejor estimación de la digestibilidad de los alimentos.

- Presenta un leve sesgo respecto a la digestibilidad real debido al material endógeno que se elimina a través de las heces.
- Esta técnica requiere de grandes cantidades de muestras, largos períodos y su costo es elevado ya que requiere de infraestructura especial.
- Con este método "*in vivo*" a pesar de lo real que son las evaluaciones, se producen variaciones entre determinaciones debido a factores propios del animal, como también factores propios de las plantas o alimentos.
- En la práctica el método presenta ciertas dificultades, como son el asegurarse de que todas las excretas sean recogidas, evitar que se mezclen con la orina e impedir que se produzcan trastornos digestivos.
- El método directo requiere de mucho personal para medir el consumo y recolectar las heces fecales, lo que se traduce en mayor tiempo y aumenta considerablemente los costos.
- Se requiere de varios animales con la finalidad de eliminar las diferencias que pudieran existir de origen digestivo, edad y sexo.
- Se restringe mucho la selectividad natural del animal, siendo menor el consumo que en el caso *ad libitum*.

1.8.2. Métodos indirectos

1.8.2.1. Método por "diferencia"

En muchos casos se desea evaluar la digestibilidad de un nutriente cuando está mezclado con una o más sustancias. Cuando se suministra un concentrado no hay problema en determinar los nutrientes de cada alimento o ingrediente que lo constituyen, en cambio en las heces fecales es imposible hacer esa separación, frente a estas circunstancias toma validez la utilización del método de digestibilidad por diferencias. Consiste en determinar previamente el alimento que va a acompañar al

alimento problema, generalmente el alimento base es un forraje al cual se le determina la digestibilidad. La digestibilidad del alimento problema se calcula por diferencia entre la digestibilidad total de la ración y la digestibilidad del alimento conocido (Villalobos-González *et al.*, 2000).

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de este método descritas por Madsen *et al.* (1997), con respecto al método *in vivo*.

1.8.2.1.1. Desventajas con relación al método *in vivo*

- Utiliza la misma cantidad de animales y el mismo procedimiento que la digestibilidad *in vivo*.
- Tiene el mismo costo que la determinación del método directo "*in vivo*".
- Introduce a error ya que supone que la digestibilidad de los componentes de una ración es la misma cuando se suministra sola o mezclada.
- No considera los efectos asociativos (con los alimentos puede no haber un efecto de adición).

1.8.2.1.2. Ventajas con relación al método *in vivo*

- Es muy práctica.
- Es una variante del método "*in vivo*".
- Es útil en casos que se quiera evaluar un alimento que sólo, produciría graves trastornos metabólicos.

1.8.2.2. Método del "Indicador"

García-Trujillo y Cáceres (1985), manifestaron que en ocasiones por falta de material apropiado, de personal o por la naturaleza del ensayo, es imposible controlar la ingestión de comida o la excreción de heces, o ambas cosas. Este es el caso, en que se alimenta a los animales en grupo donde no se puede precisar la cantidad ingerida por cada uno, en estos casos es posible calcular la digestibilidad si el alimento contiene

alguna sustancia que sea totalmente indigestible, midiendo su concentración en el alimento y en pequeñas muestras de heces de cada animal; la relación que exista entre estas concentraciones nos da la medida de la digestibilidad,

Para considerar a una sustancia como un marcador ideal Giraldo *et al.* (2007) determinaron las características que deben cumplir:

- Debe ser inerte y carecer de efectos tóxicos.
- No debe ser absorbida ni metabolizada en el conducto gastrointestinal.
- Debe carecer de volumen apreciable.
- Debe mezclarse íntimamente con y mantenerse uniformemente distribuido en la digesta.
- No debe influir sobre las secreciones gastrointestinales, digestión, absorción o motilidad normal.
- No debe influir sobre la microflora del tracto gastrointestinal.
- Debe poseer propiedades físico químicas, fácilmente discernibles en la totalidad del tracto gastrointestinal, que permitan su determinación cuantitativa de forma simple y exacta.
- Los marcadores se emplean no solamente para calcular los coeficientes de digestibilidad sino para valorar la digestión fraccional en diversos segmentos del tracto alimentario y también para medir el tiempo de retención de la digesta.

1.8.2.2.1. Marcadores internos

Existen muchos elementos que se han usado como marcadores de alimentos para determinación de digestibilidad, estos son:

Lignina: esta sustancia ha sido considerada como indigestible y en consecuencia utilizada como marcador en estudios de digestión, sin embargo existen problemas

importantes en su determinación y en la recuperación total de esta sustancia en las heces (Church y Pond, 1994).

Sílice: En principio se encontró que el sílice era indigestible, por lo que se usó como marcador, posteriormente se descubrió una recuperación excesiva de sílice en las heces, principalmente en animales a pastoreo y aquellos estabulados con piensos contaminados con polvo o tierra, razón por la cual se llevó a pensar en una infravaloración en la ingestión de sílice y además excreciones por orina (Tobal, 1999).

Cenizas insoluble en ácidos: el empleo de una fracción de cenizas del pienso que no se disuelve en HCl hirviendo, proporciona resultados similares a los obtenidos mediante la recogida fecal total, esto fue demostrado por Garcia-Trujillo y Caceres (1985), cuando realizaron pruebas de digestibilidad en ovejas con *cenizas insolubles en ácidos*, concluyendo que estas sustancias pueden actuar como un marcador fiable porque se aprecia poca variación diurna en el contenido de las heces y porque las técnicas analíticas son bastante precisas.

1.8.2.2.2. Marcadores externos

Alimentos teñidos: Las partículas teñidas del pienso tienen ciertas ventajas como marcador porque permiten la identificación de partículas específicas durante su paso a través del tracto alimentario y porque pueden usarse tintes diferentes para marcar de forma indeleble distintos alimentos que componen una dieta mixta; El análisis de estas partículas debe realizarse mediante inspección visual y recuento de las partículas teñidas en una determinada muestra, cosa que resulta laborioso y sometido a error humano, (Madsen *et al.*, 1997).

Oxido crómico: en los estudios sobre nutrición se han utilizado varios óxidos metálicos insolubles como marcadores, pero el más comúnmente empleado es el óxido crómico;

este ofrece ciertas ventajas como marcador ya que se recupera totalmente en las heces y existen varios métodos analíticos fiables para su determinación. El óxido crómico es un polvo denso que se mantiene en suspensión y su velocidad de pasaje es independiente de la correspondiente a la fase acuosa como a la particulada, es por esta razón que no resulta apropiado como marcador en estudios para determinar los tiempos de retención de la digesta (Lachmann y Araujo-Febres, 2008). Además el óxido crómico forma un sedimento en el retículo rumen y es transferido esporádicamente al tracto gastrointestinal, en consecuencia, la excreción de óxido crómico con las heces está sometida a variación por efecto de la velocidad de pasaje ruminal, se ha usado frecuentemente para corregir los flujos de digesta en animales con cánulas reentrantes durante un plazo de 24 h, sin embargo Church y Pond (1994), aseguran que el empleo de óxido crómico o de cualquier marcador, resulta inadecuado para la determinación exacta del flujo de la digesta en animales provisto de cánulas simples en el tracto postruminal.

Elementos de “tierras raras”: los elementos de tierras raras como Lantano, samario, Cerio, Iterbio y Disprosio, han sido investigados y usados como marcadores tanto en estudios de digestibilidad como de velocidad de paso. El quelato de rutenio de tris (1,10 fenantrolina) (Ru-pheb) ha sido considerado, como las tierras raras, con una elevada capacidad para fijarse a las partículas de materia orgánica (Villalobos-González *et al.*, 2000).

Fibra tratada al cromo mordante: Un procedimiento llamado "mordante" determina la formación de fuertes complejos entre el cromo y las membranas de las células vegetales, este complejo es el marcador más específico, por consiguiente tiene un valor considerable para estudiar la digestibilidad y el avance de la digesta (Van Soest, 1994).

El inconveniente más grave que tiene el empleo del cromo mordante consiste en el intenso tratamiento químico recibido durante la preparación y la indigestibilidad resultante de la partícula tratada, que puede comportarse de distinta forma que las restantes partículas del pienso en una determinada dieta (Tobal, 1999).

Marcadores hidrosolubles: Existen varios materiales con un comportamiento casi ideal como marcadores de la fase líquida de la digesta, el *polietileno glicol* es muy soluble en agua, se recupera casi totalmente en las heces y ha sido utilizado durante muchos años como marcador en estudios efectuados con rumiantes, sin embargo las técnicas resultan imprecisas para el análisis del polietileno glicol, pero algunos investigadores han superado esta limitación mediante el empleo de polietileno glicol radio marcado (Madsen *et al.*, 1997).

Alcanos: este marcador es utilizado para determinar digestibilidad de los pastos, se introduce en forma de pelex, pero tiene el inconveniente que la excreción fecal no es constante. La concentración de alcanos en las heces está influenciada por la edad de los pastos y existe interacción entre los días de muestreo. Tiene menor variación diaria siendo de mayor importancia las variaciones entre días (Basurto y Tejada de Hernández, 1992).

1.8.2.3. Método "*in vitro*"

Los ensayos 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 objetivo de poder determinar la digestibilidad de los alimentos por métodos rápidos. Uno de estos métodos es el de digestibilidad *in vitro* que de acuerdo a un gran número de trabajos, predice digestibilidad *in vivo* con alto grado de precisión (Lascano *et al.*, 1990).

La digestibilidad *in vitro* es un método, que se basa en el principio de someter una muestra de forraje en un recipiente a la acción de inóculo de líquido ruminal, con el fin de asimilar las condiciones naturales que ocurren en el rumiante. Después de un

determinado tiempo se mide la cantidad de materia seca, materia orgánica o celulosa que ha desaparecido durante la incubación, la proporción desaparecida se denomina digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry, 1963).

El método *in vitro* tiene la dificultad que presupone el tener que mantener animales fistulados en el rumen, que deben ser de la misma especie, ya que se ha observado que con la utilización de jugo ruminal de especies diferentes, se obtienen resultados distintos (Wattiaux, 2001).

A continuación se presentan las ventajas y desventajas del método *in vitro* descritas por Pérez-Robledo (2013)

1.8.2.3.1. Ventajas y Desventajas

- El método *in vitro*, permite el estudio de un gran número de muestras en un tiempo menor, requiere de pequeñas cantidades de muestra y tiene un costo menor en comparación con el método *in vivo* o colección total.
- El método *in vitro* presenta un inconveniente en la determinación de la digestibilidad de MO y de la MS, esto se debe a la baja correlación de éstas con los valores correspondientes a las digestibilidades *in vivo*.
- Este método, además de ser reproducible y muy fácil de manejar, entrega valores de digestibilidad *in vitro* similares a los obtenidos con métodos *in vivo*, utilizando ovejas, siendo posible su introducción a la evaluación rutinaria de muestras de alimentos.
- El método *in vitro* tiene la dificultad que presupone el tener que mantener animales fistulados en el rumen, que deben ser de la misma especie, ya que se ha observado que con la utilización de jugo ruminal de especies diferentes, se obtienen resultados distintos.
- Se ha observado que el método *in vitro* subvalora la digestibilidad en aquellos rangos inferiores a 65 %, lo cual puede deberse a falta de tiempo de fermentación con licor ruminal, especialmente en forrajes de menor calidad.

- Los coeficientes de digestibilidad pueden ser determinados simultáneamente en un gran número de muestras.
- El tiempo requerido por muestra es mínimo en comparación con otras técnicas.
- Se requiere únicamente una muestra pequeña para determinar la digestibilidad.
- El grado de precisión obtenido es muy alto, para estimar o predecir la digestibilidad *in vivo*. Tilley y Terry (1963) sugirieron que la digestibilidad *in vitro* (x) se estime por medio de la siguiente ecuación: $Y = 0.99x - 1.01$, $r = 0.98$.

1.8.2.4. Método "*in situ*"

Un método alternativo, dentro de los que se realizan bajo condiciones *in vivo*, es el método de la bolsa de nylon o *in situ* que tiene la ventaja, que la muestra es fermentada dentro del rumen del animal, los valores obtenidos debieran ser cercanos a la digestibilidad aparente (Wattiaux, 2001). Además, es una técnica simple que no requiere infraestructura especial y que permite el estudio de un mayor número de muestras que la digestibilidad aparente, este método ha sido utilizado en diversos países para determinar el grado y tasa de degradación de forrajes, alimentos toscos, suplementos proteicos y sus constituyentes (Ørskov *et al.*, 1980; Sun y Waghorn, 2012).

El éxito de la técnica *in situ* está determinado por diversos factores como: el material de la bolsa, el tratamiento, la preparación y el tamaño de la muestra, la posición del rumen, el tiempo de incubación, las repeticiones, el número de bolsas incubadas, la dieta del animal y el lavado de la bolsa (Owens *et al.*, 2009).

A continuación se presentan las ventajas y desventajas del método *in situ* descritas por (Tobal, 1999).

1.8.2.4.1. Ventajas y Desventajas

- Esta técnica requiere de reactivos y equipos de laboratorio.
- Requiere una cantidad pequeña de muestras.
- Requiere de poco tiempo para realizarla.

- No requiere de personal altamente entrenado.
- Esta técnica no toma en cuenta la digestión de los forrajes que se lleva a cabo en el tracto digestivo posterior, por lo que los resultados obtenidos son invariablemente menores a los obtenidos con otros métodos.
- Los resultados obtenidos son muy variables.
- La precisión de esta técnica no ofrece una buena confiabilidad en los datos para calcular el consumo de forraje.
- Permitir el estudio de la evolución de la degradabilidad en función del tiempo de permanencia en el rumen y medir los efectos de diferentes factores ruminales sobre la tasa de digestibilidad de los distintos nutrientes.
- La varianza entre animales es mayor que entre las bolsas dentro de un animal y algo inferior entre series de repeticiones.

1.9. Consumo voluntario de rumiantes

El consumo voluntario de forrajes por rumiantes 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, se debe enfatizar en dos aspectos específicos para animales en pastoreo, la selectividad y la disponibilidad de forraje (Minson, 1990).

En las fases del 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 del rumen (Díaz, 1998).

Mellado *et al.* (2004), afirmaron que los animales en un estado nutricional de alta calidad suelen ser más selectivos y escoger diferentes dietas que los animales que tienen nutrición deficiente.

Así mismo, Allison (1985), encontró 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. Este autor también señaló que los animales jóvenes son más selectivos, prefieren forrajes con mayores niveles de proteína cruda y menores de fibra detergente ácida y celulosa al compararlos con las vacas adultas.

Por otro lado, Distel (1993), indicó 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 y preferencia por forrajes fibrosos en los animales en pastoreo.

Además, Kawas (1995), señaló 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.

1.10. Utilización de la biomasa hidropónica de maíz en la alimentación de rumiantes

1.10.1. Alimentación de rumiantes mayores

Jaramillo-Arias (2012), estudió el efecto de la suplementación de biomasa hidropónica de maíz en la crianza de terneras desde tres hasta ocho meses de edad, suministrando T0: Concentrado (2 kg/animal/día) + pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) *ad libitum*; T1: Biomasa hidropónica de maíz (10 kg/animal/día base húmeda) + 1,5 kg de concentrado + Pasto kikuyo *ad libitum*; y T2: Biomasa hidropónica de maíz (20 kg/animal/día) + Pasto kikuyo *ad libitum*. Se concluyó que con T1, se lograron los mejores resultados (800,42 g de ganancia media diaria (GMD)) en comparación con T0 y T2 (697,48 y 695,38 g GMD, respectivamente).

Espinoza *et al.* (2007), en sus estudios declararon GMD de 696 y 1 107 g/animal/día cuando alimentaron bovinos (Holstein x Cebú) a base de pasto fresco picado y pasto más 30 % de biomasa hidropónica de maíz, respectivamente.

1.10.2. Alimentación de vacas lecheras

Mora-Agüero (2009), al evaluar el efecto del uso de la biomasa hidropónica de maíz sobre la producción de leche de vacas en pastoreo, llegó a las siguientes conclusiones:

- La suplementación con biomasa hidropónica de maíz no mostró diferencias para la producción de leche y sus componentes (porcentaje en leche de grasa, lactosa, proteína y sólidos totales) al compararla con los demás tratamientos estudiados.
- A medida que se incrementó el nivel de suplementación de biomasa hidropónica de maíz se observó una tendencia a aumentar la producción de leche hasta un 7 % en las vacas con mayor suplementación al compararlas con las no suplementadas.

De la misma manera Orjuela-Villalobos (2015), evaluó el uso de la biomasa hidropónica de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmequé-Perú, la dieta basal consistió en el consumo diario *ad-libitum* de una mezcla de forraje de trébol rojo (*Trifolium pratense*, L), raigrás (*Lolium multiflorum*, L.) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) 35 kg/animal/día; las variables en estudio fueron la suplementación al momento del ordeño de 3 y 6 kg de biomasa hidropónica de trigo. Se concluyó que:

- El suministro de 6 y 3 kg de biomasa hidropónica de trigo, incrementó la producción diaria de leche en promedios de 3,5 y 2,0 kg/vaca/día, respectivamente, en comparación con el testigo.
- El costo/kg de biomasa hidropónica de trigo y su uso como suplementación en la alimentación posibilitó bajar costos en la alimentación, incrementar la producción y mejorar la relación costo beneficio.

- Las pruebas de mastitis demostraron que suministrar biomasa hidropónica de trigo no afectó la calidad de leche.

Por otro lado Romero *et al.* (2009), en un ensayo donde suplementaron biomasa hidropónica de maíz (4,5 kg/animal/día) en la alimentación vacas lecheras se incrementó la producción hasta en un 15 % cuando se comparó con las que no fueron suplementadas con biomasa hidropónica de maíz.

1.10.3. Alimentación de cabras

Adum (2013), indicó que las cabras por tener un retículo rumen pequeño, el tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal es más rápido que otros rumiantes y su ingesta de alimentos es alta, por su excelente digestibilidad, la biomasa hidropónica de maíz se ha convertido en la fuente base de la alimentación caprina, alcanzando superiores conversiones alimenticias y altas producciones lecheras.

Además, en cabras lecheras de la raza Nubia, López *et al.* (2009) incluyeron biomasa hidropónica de maíz en sus dietas con lo que incrementaron significativamente la ganancia de peso vivo, registrándose 135 o 144 g/día para dietas que incluían el 70 o 25 % de biomasa hidropónica de maíz, respectivamente. Al respecto, García-Carrillo *et al.* (2013) publicaron que cabras lecheras alimentadas con una dieta que incluía el 30 % de biomasa hidropónica de maíz incrementaron en un 15 % la producción láctea sin afectar la calidad de la leche ni la reproducción.

MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

2.1. Ubicación de los lugares experimentales

Los experimentos 1 y 2 se desarrollaron en la finca ganadera “La Sevilla”, situada (Figura 2A de los anexos) en la comuna San Marcos, parroquia Colonche, cantón y provincia de Santa Elena, Ecuador ($05^{\circ} 41' 54''$ de latitud Sur y $97^{\circ} 77' 35''$ de longitud Oeste). Mientras que el experimento 3 en el Centro de Apoyo Colonche, propiedad de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, situado en Colonche a 35 km de la ciudad de Santa Elena; con coordenadas geográficas $05^{\circ} 41' 28''$ de latitud Sur y $97^{\circ} 77' 13''$ de longitud Oeste, la zona cuenta con temperatura promedio anual de 28°C , precipitación entre 100 y 283 mm, humedad relativa 64 % (promedios de los últimos cinco años) y una altura de 13 msnm, (INAMHI, 2015).

2.2. Producción de biomasa hidropónica de maíz

Se utilizaron 2,5 kg de semillas de maíz/m² variedad *Agri 104* (9 500 plantas/m²) según las recomendaciones de López *et al.* (2009) y se tomaron tres soluciones nutritivas estandarizadas: Hoagland (Llanos-Peada, 2001); La Molina (Rodríguez-Delfín y Chang, 2012); FAO (Marulanda y Izquierdo, 2003) y un Testigo (sin solución nutritiva) las que fueron preparadas (macro (A) y micro elementos (B)) en el laboratorio de química de la Universidad Estatal Península de Santa Elena de acuerdo a los estándares establecidos por sus autores. Las plantas se cosecharon en diferentes momentos (12, 15 y 18 días de edad).

En la Tabla 1.2 se detalla la composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en los experimentos.

Tabla 1.2. Composición química de las soluciones nutritivas equilibradas Hoagland, La Molina y FAO

Nutriente	Producto comercial	Hoagland ^ϕ	La Molina [†]	FAO [§]
Macro minerales (A)		mg/L		
Nitrógeno	Nitrato de K	224	190	225
Potasio		235	210	500
Fósforo	Fosfato de amonio	62	35	45
Micro minerales (B)				
Calcio	Nitrato de Ca	160	150	300
Azufre	Sulfato de Mg	32	70	-
Magnesio		24	45	50
Hierro	Quelato de Fe	1,12	1,0	-
Manganeso	Sulfato de Mn	0,11	0,5	1,0
Boro	Borato	0,27	0,5	0,4
Zinc	Sulfato de Zn	0,13	0,15	0,1
Cobre	Sulfato de Cu	0,03	0,1	0,1
Molibdeno	Molibdato de H	0,05	0,05	0,05
Cloro	Cloruro de K	1,77	-	-

Fuentes: ^ϕLlanos-Peada (2001); [†]Rodríguez-Delfín y Chang (2012) y [§]Marulanda y Izquierdo (2003)

Se utilizó una nave de germinación y producción de biomasa hidropónica, balanza analítica (marca Mettler AE 160 Suiza ± 0.01 g), balanza electrónica (Mettler Toledo BBA231-3BC300 de 300 ± 0.1 kg), hipoclorito de sodio.

La siembra y el riego se realizaron siguiendo los procedimientos de Marulanda y Izquierdo (2003) y Maldonado-Torres *et al.* (2013), en breve: se procedió a lavar las semillas, eliminando impurezas que escaparon en la selección; se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al uno por ciento (1 %) durante un minuto y se sometieron al proceso de hidratación durante 24 h sumergidas en agua; transcurrido este tiempo se distribuyeron en las bandejas de germinación y se sometieron a oscuridad total durante cuatro días. Se regaron tres veces al día para mantener la humedad y evitar

deshidratación. Post germinación, se aplicaron seis riegos/día (8, 10, 12, 14, 16 y 18 h) de un minuto cada uno y tres días antes del día de la cosecha se regó con agua corriente para lavar las sales minerales residuales en las bandejas. Un día anterior a la cosecha se suspendió el riego para evitar que la humedad incrementara el peso del material a cosechar.

2.3. Análisis químico proximal

Se tomaron muestras por triplicado (1 kg/unidad experimental), las que fueron secadas a 65 °C durante 72 h, para luego moler cada muestra en un molino (B&P, Quito-Ecuador) a tamaño de partícula de 1 mm y conservar hasta su análisis en el laboratorio a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) en frascos cerrados herméticamente. El análisis proximal de las muestras se realizó según la metodología propuesta por la AOAC (2005) en duplicado para materia seca (MS), extracto etéreo (EE) y proteína bruta (PB ($N \times 6.25$)). La materia orgánica (MO) contenida en las muestras se determinó según la EC (2009). La fibra detergente neutro (FDN) fue analizada y expresada exclusiva de ceniza residual, para facilitar el proceso se empleó amilasa termoestable (Sigma, referencie A3176) según las recomendaciones de Van Soest *et al.* (1991), la fibra detergente ácido (FDA) fue determinada por análisis secuencial en el residuo de la FDN y también expresada exclusiva de ceniza residual (Van Soest *et al.*, 1991). La hemicelulosa fue determinada por diferencia entre la FDN y FDA; la lignina y celulosa se determinaron de acuerdo a, Van Soest *et al.* (1991) siendo la lignina, oxidada por permanganato.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ

Reescrito después de:

Acosta-Lozano, N.V., Lima-Orozco, R., Castro-Alegría, A., Avellaneda-Cevallos, J.H, Suárez-Reyes, Y.G., 2016. Evaluación de diferentes sistemas de producción de forraje verde hidropónico de maíz en San Marcos, Ecuador. Centro Agrícola, 43(4), aceptada.

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ

3.1. Introducción

La Península de Santa Elena por presentar condiciones climatológicas adversas (INAMHI, 2015), no permite el crecimiento de pastizales que garanticen todo el año la alimentación de rumiantes (Ramos-Tocto, 2010).

El manejo extensivo del ganado caprino que predomina, ocasiona que los animales busquen alimento recorriendo grandes extensiones de tierra, con el consecuente incremento de sus requerimientos nutritivos (Dickson y Muñoz, 2005).

Según Cruz-Domínguez (2015), los capricultores de la región han buscado alternativas de alimentación suplementaria en combinación con el pastoreo extensivo en aras de mejorar esta situación, entre las que se encuentran: empleo de concentrados, panca de maíz (planta de maíz sin la mazorca) y suministro de cactus (*Armatocereus brevispinus*, Madsen), aunque con indicadores productivos y económicos discretos (Deza *et al.*, 2007).

Al respecto, el empleo de la hidroponía se muestra como una alternativa para la región, especialmente la producción de biomasa hidropónica de maíz (BHM), ya que puede ser una alternativa eficiente de producción y alimentación de caprinos criollos, al presentar menor dependencia frente a condiciones climatológicas, disponibilidad de terreno y uso eficiente del agua (Lopez *et al.*, 2012).

La BHM se caracteriza por crecer en bandejas con sistemas de riego adecuados que permiten proporcionarle a las plantas la cantidad suficiente de agua que garanticen su crecimiento y desarrollo para ser cosechadas en estadios tempranos de crecimiento,

donde presentan excelente calidad nutricional y buena palatabilidad para los animales (Herrera Ramírez y Echavarría Vega, 2008). Además para optimizar el proceso y mejorar la calidad y productividad de la biomasa se pueden emplear sustancias nutritiva, (Llanos-Peada, 2001; Sánchez *et al.*, 2001).

3.1.1. Objetivo

Evaluar el efecto de soluciones nutritivas y tiempos de cosecha sobre el rendimiento y calidad nutricional de la biomasa hidropónica de maíz.

3.2. Materiales y métodos

Para evaluar la producción de biomasa (kg/m^2) el contenido total de todas las unidades experimentales (bandejas) fue pesado al momento de cosecha para determinar el rendimiento forrajero. Además se estimó la producción anual ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{año}$) de materia seca y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz a los 12 (30 cosechas), 15 (24 cosechas) y 18 (20 cosechas) días.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial sin interacciones 4×3 (3 soluciones nutritivas + 1 testigo \times 3 momentos de cosecha) \times 3 repeticiones por cada tratamiento, los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple soportado en el SPSS versión 21 (SPSS, 2012) y en aquellos casos que el ANOVA fue significativo las diferencias entre medias fueron analizadas mediante la prueba de Tukey (1949).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Producción de materia seca y proteína bruta

En la Tabla 1.3 se presentan los resultados de la producción de MS y PB de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con diferentes soluciones nutritivas y cosechadas en tres momentos diferentes. En la Figura 1A (ver anexos) se presenta la cinética de

crecimiento de las plantas de maíz cultivadas en hidroponía con diferentes soluciones nutritivas durante 18 días.

Tabla 1.3. Producción de materia seca y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz, bajo diferentes sistemas productivos

Parámetros	MC* (días)	Soluciones nutritivas				EE± ^φ	P [†]
		Testigo	Hoagland	La Molina	FAO		
Producción de MS (kg/m ² /año)	12	103 a	137 a	93	114 a	11,936	0,092
	15	64 ^f ab	77 ^{ef} b	98 ^{de}	110 ^d a	7,586	0,002
	18	58 b	85 b	74	73 b	3,742	0,188
	EE±	11,944	5,466	6,421	8,460	-	-
	P	0,036	0,022	0,056	0,014	-	-
Producción de PB (kg/m ² /año)	12	14,0	21,3	13,8	15,5 a	1,684	0,099
	15	10,1	12,7	14,1	14,3 ab	1,912	0,052
	18	10,1	15,0	13,6	12,9 b	0,326	0,100
	EE±	2,361	0,585	0,997	1,384	-	-
	P	0,077	0,117	0,885	<0,001	-	-

Letras desiguales (a, b, c) debajo de las medias en la misma columna y medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949).

*MC: momento de cosecha; ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; [§]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución.

La producción anual de MS demostró que al comparar las soluciones nutritivas a los 12 y 18 días de edad (30 y 20 cosechas al año) estas no diferían ($P > 0,05$); sin embargo es necesario indicar que a los 12 días fue donde se consiguieron los valores numéricos anuales más altos de MS, especialmente cuando se emplearon las soluciones nutritivas Hoagland y FAO. No obstante, a los 15 días de edad (24 cosechas al año) las soluciones nutritivas FAO y La Molina fueron diferentes a la Testigo y Hoagland, mostrando las mayores producciones ($P < 0,05$) de MS en ese momento de cosecha. Cuando se

comparan los momentos de cosecha dentro de cada solución nutritiva, estos presentaron variaciones ($P < 0,05$) cuando se emplearon las soluciones Testigo, Hoagland y FAO indicando que a medida que se incrementaban los días de cosecha las producciones decaían debido a la estimación anual. Estos valores son comparables o superiores a los reportados por López *et al.* (2009) quienes lograron 120 kg MS/m²/año a los 14 días de edad o por Salas-Pérez *et al.* (2010) con 78 kg MS/m²/año a los 12 días. Sin embargo, Ordóñez (2011) consiguió producciones más altas (273 kg MS/m²/año a los 15 días) que las reportadas en este trabajo.

La producción anual de PB no fue afectada ($P > 0,05$) por las soluciones nutritivas en ninguno de los momentos de cosecha; sin embargo, las soluciones nutritivas Hoagland y FAO a los 12 días de edad (30 cosechas al año) obtuvieron valores numéricos mayores. Al comparar los momentos de cosecha dentro de cada solución nutritiva se observó efecto del momento de cosecha ($P < 0,01$) cuando se empleó la solución FAO, en la que las cosechas a los 12 o 15 días mostraron los mejores resultados.

Los valores de PB obtenidos en esta investigación fueron inferiores o comparables con aquellos reportados por López *et al.* (2009) quienes encontraron 18,98 kg PB/m²/año a los 14 días; mientras que Salas-Pérez *et al.* (2010) reportaron 16,94 kg PB/m²/año a los 16 días, en tanto Ordóñez (2011) señalaron producciones de 11,6 kg PB/m²/año a los 15 días de cosecha.

Las soluciones nutritivas en la producción de biomasa hidropónica han sido usadas durante muchos años, es así que Dosal-Aladro (1987), probando distintas dosis de nitrógeno en avena hidropónica, encontró los mejores resultados en producción y valor nutritivo cuando se utilizó 200 mg/L de N en la solución nutritiva, concluyendo que dosis superiores no incrementan la producción de fitomasa. Así mismo informó que el contenido de PB (g/m²) después de los 15 días si se aplican concentraciones superiores

(N 300 - 400 mg/L), no aumentó el aporte proteico, sino que lo disminuyó en aproximadamente 13,6 %, lo que equivale a 59 g/m² de proteína (base seca). Estos autores sugirieron que esta respuesta pudo estar dada por los altos niveles de N que pudieron inducir toxicidad o desbalance con otros elementos químicos de la solución nutritiva; a su vez, declararon que sería la causa de una menor producción de fitomasa.

Por otro lado, Barry (2000) manifestó que todas las soluciones nutritivas poseen los macro y micro nutrientes esenciales para las plantas para las diferentes edades fisiológicas, pero lo más importante es la relación K/N, que define a una solución nutritiva de crecimiento (1:1) y de producción (1,5:1). En este estudio las soluciones Hoagland (K/N 1:1), La Molina (K/N 1,1:1) y FAO (K/N 2,2:1) poseen cantidades de N (Tabla 1.2) que según Llanos-Peada (2001) son altas; y en la solución FAO una relación K/N que supera dos veces la relación óptima de crecimiento, lo que pudo influir negativamente en la producción de MS y PB de las biomásas producidas con esta solución; ya que el exceso de algún elemento puede provocar disminución en la producción y fitotoxicidad en los cultivos (Baixauli y Aguilar, 2002; López-Acosta *et al.*, 2011).

Otros autores reportan que la relación que guardan los diferentes nutrientes dentro de la solución nutritiva, incide en la productividad de los cultivos debido a que interaccionan tanto aniones como cationes y determinan el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos, pues el potasio actúa como regulador de crecimiento cuando la disponibilidad del nitrógeno es alta (Papadopoulos, 2004; Hernández-Díaz *et al.*, 2009).

3.3.1. Análisis químico proximal

En la Tabla 2.3 se presentan los contenidos de MS y MO de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con tres soluciones nutritivas y cosechadas a tres edades diferentes.

Al respecto, la biomasa hidropónica de maíz producida con la solución FAO en todos los momentos de cosecha mostró mayor ($P < 0,001$) contenido de materia seca (MS) que

el resto de las biomásas producidas con o sin las demás soluciones nutritivas estudiadas. El análisis de los momentos de cosecha dentro de cada solución para el contenido de MS mostró similitud a los 12, 15 y 18 días de cosecha en todas las soluciones empleadas, excepto en La Molina que evidenció diferencias ($P < 0,05$).

Tabla 2.3. Contenidos de materia seca y materia orgánica de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

Parámetros	MC* (días)	Soluciones nutritivas					EE± ^φ	P [†]
		Testigo	Hoagland	La Molina	FAO			
Materia seca (g/kg alimento)	12	153 ^e	156 ^e	157 ^e b	204 ^d	3,990	<0.001	
	15	161 ^e	161 ^e	168 ^e ab	218 ^d	8,538	<0.001	
	18	160 ^f	148 ^f	183 ^e a	204 ^d	5,572	<0.001	
	EE±	9,579	4,728	4,544	5,006	-	-	
	P [§]	0,770	0,139	0,004	0,097	-	-	
Materia Orgánica (g/kg MS)	12	972 ^{de} a	976 ^d a	970 ^e a	972 ^{de} a	1,361	0.014	
	15	974 ^d a	965 ^f b	971 ^e a	970 ^e a	0,783	<0.001	
	18	961 b	958 b	958 b	958 b	2,357	0.601	
	EE±	1,913	2,282	1,221	0,651	-	-	
	P	<0,001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	

Letras desiguales debajo de las medias (a, b, c) en la misma columna difieren para Tukey (1949) $P < 0,05$; medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para Tukey (1949) $P < 0,05$.

*MC: momento de cosecha; ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; [§]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución.

Los contenidos de MO a los 12 días fueron afectados ($P < 0,05$) por las soluciones nutritivas, siendo el tratamiento con la solución La Molina quien mostró los menores contenidos. Sin embargo a los 15 días de edad la biomasa hidropónica de maíz acumuló mayor ($P < 0,001$) contenido de MO cuando se utilizó el agua corriente (Testigo), en tanto que a los 18 días no tuvo consecuencia ($P > 0,05$). Por otro lado al analizar el

efecto de los momentos de cosecha dentro de cada solución se evidenció mayor ($P < 0,001$) contenido de MO en la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días, a excepción de la solución Hoagland que fue igual a las cosechadas a los 18 días.

Al respecto, García-Esteva *et al.* (2003) mencionaron que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente el nitrógeno, es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como es el caso de las biomásas hidropónicas. Por otro lado, Barry (2000) indicó que las soluciones nutritivas hidropónicas contienen todos los minerales que la planta requiere pero los factores más importantes para su utilización son la temperatura de la solución nutritiva (18 a 25 °C) ya que si está fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también. Esto tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado. Si es muy alta, afecta la absorción mineral. Este parámetro pudiera haber influenciado en la producción de MS y MO en los tratamientos estudiados ya que la temperatura ambiental en el lugar del ensayo fue de 28 °C, sin embargo estos resultados son superiores a los reportados por Espinoza *et al.* (2004), Herrera Angulo *et al.* (2007) y Salas-Pérez *et al.* (2010) quienes cosecharon biomasa hidropónica de maíz a los 10 días (144, 150, 167 g/kg MS, respectivamente). Además indicaron que la temperatura aparte de los efectos directos sobre el sistema radicular, es importante porque determina la cantidad de oxígeno que puede estar disuelto dentro de la solución. Al respecto se plantea que el agua o una solución nutritiva fría pueden disolver más oxígeno que el agua o una solución caliente, las raíces como cualquier órgano vivo necesitan oxígeno para funcionar adecuadamente y la temperatura de las soluciones aplicadas a las biomásas de este estudio también pudo haber influenciado en estos resultados, sin embargo fueron similares a los encontrados por Gómez (2007) y López *et al.* (2009) (191 y 218 g/kg MS, respectivamente) e inferiores a los publicados por

Andrade-Moreira (2010) y Moyano-Hernández y Sánchez-Moreno (2012) quienes cosecharon biomasa hidropónica de maíz a los 12 días (137 y 224 g/kg MS, respectivamente). No obstante la biomasa hidropónica de maíz obtenida sin solución nutritiva (Control) en el presente trabajo presentó los promedios más altos de MO lo que pudo estar influenciado por la densidad del agua y la temperatura que ocasionó mayor oxigenación en las raíces; los promedios obtenidos de MO fueron similar a los reportados por Gómez (2007) con 975 g MO/kg MS en cosechas de biomasa hidropónicas de maíz y cebada a los 12 días de edad, en contraposición de los tratamientos que recibieron soluciones nutritivas que presentaron una tasa de absorción similar de los nutrientes, aspecto que parece ser inherente a la fisiología y a la capacidad del sistema radical de las plantas (Rivera *et al.*, 2010).

Por otro lado, en la Tabla 3.3, se presentan los contenidos de EE y PB de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con tres soluciones nutritivas y cosechadas en tres tiempos diferentes.

El contenido de EE en la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 días de edad fue afectado ($P < 0,001$) por las soluciones empleadas, donde el tratamiento con la solución La Molina mostró la mayor concentración. A los 15 y 18 días de edad la misma solución obtuvo el valor numérico mayor, siendo igual ($P < 0,05$) a las soluciones nutritivas Hoagland y FAO; y estas a su vez al Testigo. Además, se evidenció que los contenidos de EE fueron influenciados ($P < 0,001$) por el momento de cosecha dentro de cada solución, en los que a medida que se incrementó la edad, también se incrementó el contenido de EE.

Al analizar los contenidos de PB a los 12 días de cosecha se evidenció que la solución Hoagland obtuvo los mayores promedios ($P < 0,001$). A los 15 días la solución Hoagland fue igual ($P < 0,001$) a las soluciones La Molina y Testigo. En el momento de cosecha dentro de cada solución la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días con la solución Hoagland mostró los mejores contenidos de PB. A los 18 días de edad

todos los tratamientos fueron similares ($P>0,001$) en cuanto a concentración proteica se refiere.

Tabla 3.3. Contenido de extracto etéreo y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

Parámetros	MC* (días)	Soluciones nutritivas				EE± ^φ	P [†]
		Testigo	Hoagland	La Molina	FAO		
Extracto etéreo (g/kg MS)	12	39,8 ^e c	28,0 ^f c	46,4 ^d b	39,6 ^e b	1,220	<0,001
	15	44,3 ^e b	45,6 ^{de} b	52,2 ^d b	45,4 ^{de} b	2,039	0,032
	18	52,5 ^e a	58,6 ^d a	60,5 ^d a	62,2 ^d a	1,576	0,002
	EE±	1,237	0,567	1,696	2,742	-	-
	P [§]	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Proteína bruta (g/kg MS)	12	142 ^f c	198 ^d a	161 ^e b	139 ^f b	2,802	<0,001
	15	161 ^d b	171 ^d b	159 ^d b	144 ^e b	3,658	<0,001
	18	195 a	184 ab	196 a	187 a	6,134	0,307
	EE±	2,802	7,777	2,098	2,394	-	-
	P	<0,001	0,041	<0,001	<0,001	-	-

Letras desiguales debajo de las medias (a, b, c) en la misma columna difieren para Tukey (1949) $P<0,05$; medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para Tukey (1949) $P<0,05$. *MC: momento de cosecha; ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; [§]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución.

Al respecto, Zakaria *et al.* (2006) relacionaron directamente el contenido de EE en el forraje con el aporte de fósforo en la nutrición de la planta, ya que este mineral es indispensable para la síntesis de proteínas y grasas y en este estudio el contenido de fósforo en la solución Hoagland fue superior a La Molina y la FAO lo que pudo influenciar los contenidos de EE y PB de las biomásas estudiadas; sin embargo los contenidos de EE fueron superiores a los reportados por Herrera Angulo *et al.* (2007), Salas-Pérez *et al.* (2010) y Moyano-Hernández y Sánchez-Moreno (2012); y similares a los reportados por Espinoza *et al.* (2004). Además, se ha determinado que forrajes con

cantidades elevadas de lípidos tendrán altos coeficientes de digestibilidad y una mejor absorción de nutrientes (Hewitt, 2011). El contenido de EE en las biomásas hidropónicas determinará el valor energético de estas, debido a que los triglicéridos contienen 2,25 veces la energía de los carbohidratos (Ball *et al.*, 2001).

Por otra parte Gutiérrez-del Río *et al.* (2006) sostienen que existe una relación directa entre la fertilización nitrogenada y el contenido de proteína de las biomásas, así mismo al aumentar la maduración, la relación es inversamente proporcional y esto se debe principalmente a que durante el desarrollo de los órganos estructurales como tallos y pecíolos, el N se desplaza a las partes más jóvenes, esto disminuye la fracción de biomasa activa y promueve una dilución del N en la planta (Müller, 2005; Fazaeli *et al.*, 2012).

Los contenidos de PB obtenidos en este trabajo fueron superiores a los reportados por Salas-Pérez *et al.* (2010) y Moyano-Hernández y Sánchez-Moreno (2012) con 123 y 135 g PB/kg MS, respectivamente; similares a los publicados por Herrera Angulo *et al.* (2007) y López *et al.* (2009) con 163 y 158 g PB/kg MS, respectivamente, quienes cosecharon biomasa hidropónica de maíz a los 12 días; e inferiores a los publicados (214 g PB/kg MS) por Andrade-Moreira (2010) quien la cosechó a los 10 días. El contenido de PB de las biomásas hidropónicas de maíz confirma un potencial nutricional de excelente calidad, comparado con la utilización de gramíneas de pastoreo que exhiben, aún en el mejor momento de consumo, contenidos de PB y valor nutricional inferiores (Rivera *et al.*, 2010).

En la Tabla 4.3 se presentan los resultados del fraccionamiento de fibra de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con diferentes sistemas productivos. El análisis del contenido de fibra detergente neutro de la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días mostró similitud entre La Molina y el Testigo, así como entre Hoagland y FAO ($P < 0,05$) y a los 18 días la solución Hoagland mostró menor concentración de FDN que las demás soluciones ($P < 0,001$). En el análisis de los momentos de cosecha

independientemente a la solución nutritiva empleada se observó que a medida que avanzaban los días de cosecha la FDN se incrementaba ($P < 0,001$).

Tabla 4.3. Fraccionamiento de fibra de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

Parámetros	MC* (días)	Soluciones nutritivas				EE± ^φ	P [†]
		Testigo	Hoagland	La Molina	FAO		
Fibra detergente neutra (g/kg MS)	12	565 ^e a	531 ^d a	578 ^e	543 ^d a	7,779	0,002
	15	585 ^e b	556 ^d b	595 ^e	551 ^d a	8,978	<0,001
	18	598 ^e c	590 ^d c	608 ^e	613 ^e b	4,102	<0,001
	EE±	3,406	9,462	9,385	4,624	-	-
	P [§]	<0,001	0,002	0,075	<0,001	-	-
Fibra detergente ácida (g/kg MS)	12	306 ^f c	229 ^d a	277 ^e b	233 ^d a	4,611	<0,001
	15	291 ^f b	260 ^e b	261 ^e a	240 ^d a	2,295	<0,001
	18	275 ^d a	279 ^{de} c	307 ^f c	292 ^{ef} b	4,143	<0,001
	EE±	2,208	4,272	2,503	5,341	-	-
	P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-
Lignina ácida detergente (g/kg MS)	12	75,5 ^d a	72,4 ^d	82,9 ^e ab	75,8 ^d ab	2,771	0,053
	15	81,7 ab	81,8	78,1 a	72,3 a	3,289	0,114
	18	83,7 ^d b	79,0 ^d	93,7 ^e b	80,3 ^d b	2,222	<0,001
	EE±	2,258	3,187	3,487	1,954	-	-
	P	0,046	0,097	0,014	0,026	-	-
Celulosa (g/kg MS)	12	230 ^f c	157 ^d a	194 ^e b	158 ^d a	5,833	<0,001
	15	210 ^e b	178 ^d b	183 ^{de} a	168 ^d a	3,218	<0,001
	18	192 ^d a	200 ^e c	213 ^f c	212 ^f b	3,262	<0,001
	EE±	3,823	2,873	2,222	6,749	-	-
	P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-

Letras desiguales debajo de las medias (a, b, c) en la misma columna difieren para Tukey (1949) $P < 0,05$; medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f) en la misma fila difieren para Tukey (1949) $P < 0,05$.

*MC: momento de cosecha; ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; [§]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución.

Al respecto, Cerrillo-Soto *et al.* (2012), manifestaron que la FDN es la fracción química que corresponde al material estructural de las células vegetales, cuya composición química compleja la hace potencialmente digestible por los rumiantes, quienes pueden obtener a partir de ella la energía necesaria para sus funciones vitales. Por otro lado, para Candia (2014), los parámetros nutritivos para determinar la calidad de los forrajes están basados en los contenidos de FDN, que representa la parte potencialmente digestible de los forrajes (ejemplo; hemicelulosa y celulosa) dado que determina la capacidad de consumo voluntario y la consistencia energética de la dieta.

De acuerdo a Van Soest (1994), los forrajes que contienen valores inferiores al 40 % de FDN pueden considerarse de buena calidad, mientras que aquellos que superan el 60 % de FDN pueden interferir con la digestión y el consumo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo fluctuaron entre el 53 y 59 % de FDN, lo que según Van Soest (1994) puede garantizar la calidad nutricional de las biomásas estudiadas.

En adición, los resultados aquí presentados son comparables a los reportados por Salas-Pérez *et al.* (2010); Vargas-Rodríguez (2008) y Espinoza *et al.* (2004). Según el NRC (2001), las dietas para rumiantes deben contener entre 25 y 35 % de FDN para garantizar un buen funcionamiento ruminal; además hay que considerar la relación que existe entre el contenido de FDN y el valor nutritivo, consumo voluntario y digestibilidad de los forrajes (Van Soest, 1994; Fazaeli *et al.*, 2012). Por otro lado, los promedios obtenidos de FDN en el presente trabajo fueron inferiores a los publicados por Herrera Angulo *et al.* (2007).

La concentración de FDA contenida en la biomasa hidropónica de maíz fue modificada ($P < 0,001$) por las soluciones nutritivas y los momentos de cosecha, donde a los 12 días de edad las soluciones nutritivas Hoagland y FAO mostraron las menores concentraciones. Además, se observó la tendencia que a medida que se incrementó

($P < 0,05$) la edad de cosecha esta fracción fue más alta, lo que pudo estar influenciada por la edad de cosecha y por el contenido de potasio en la solución FAO a los 18 días.

Es válido declarar que la FDA en los forrajes como en otros alimentos representa la cantidad de fibra indigestible que se correlaciona negativamente con la digestibilidad y el contenido de PB de los alimentos (Perry, 1980; Candia, 2014; Bedolla-Torres *et al.*, 2015). En el mismo sentido López-Acosta *et al.* (2011) indicaron que conforme la planta madura, su contenido de FDA aumenta y la ingestión y digestibilidad se reducen. Los resultados alcanzados en el presente trabajo fueron similares a los obtenidos por López *et al.* (2009) y Cerrillo-Soto *et al.* (2012) e inferiores a los alcanzados por Salas-Pérez *et al.* (2010); Vargas-Rodríguez (2008) y Espinoza *et al.* (2004).

En cuanto a la lignina detergente ácido se encontró efecto ($P < 0,05$) de las soluciones y los momentos de cosecha; donde la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 18 días de cosecha con Hoagland mostraron las menores concentraciones de lignina detergente ácido para esos momentos de cosecha, en tanto a los 15 días todas las soluciones mostraron similares ($P > 0,05$) contenidos de esta fracción. Al respecto Jarrige *et al.* (1995) aseguraron que la lignina se localiza en la pared secundaria de las células vegetales donde desempeña una importante función estructural; además contribuye a mantener el agua dentro de las células y limita la presencia de microorganismos patógenos. Los resultados obtenidos en esta variable en el presente trabajo son inferiores a los reportados por Herrera Angulo *et al.* (2007) y similares a los contenidos reportados por Vargas-Rodríguez (2008) y López *et al.* (2009). Esta fracción química es la principal limitante en la disponibilidad de los carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) para los animales herbívoros, debido a que es indigestible evitando el ataque de las enzimas microbianas sobre la celulosa y hemicelulosa (Faverdin *et al.*, 2011; López-Acosta *et al.*, 2011).

Al analizar la celulosa en las biomásas hidropónicas de maíz producidas a los 12 y 15 días de cosecha, las BHM producidas con las soluciones nutritivas Hoagland y FAO mostraron los menores contenidos, mientras que a los 18 días fue la BHM producida con la solución Testigo ($P < 0,001$). Esta fracción química se encuentra en mayor concentración en las paredes primarias y secundarias de las células vegetales, lugar donde se armoniza con la lignina, hemicelulosa, cutina y minerales (Zhang *et al.*, 2013; Yerka *et al.*, 2015). Aquellos forrajes que contienen entre 22 y 25 % de celulosa en su composición química son considerados ideales para dietas de rumiantes (NRC, 2001). Los resultados obtenidos en este componente de la fibra en la presente investigación muestran que son comparables con los reportados por Vargas-Rodríguez (2008) y López *et al.* (2009).

En la Tabla 5.3 se observa la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (divMO) y el contenido de energía metabolizable (EM) de las biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas.

Tabla 5.3. Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía metabolizable de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

Parámetros	MC* (días)	Soluciones nutritivas				EE± ^φ	P [†]
		Testigo	Hoagland	La Molina	FAO		
divMO (g/100 g MS)	12	70,13	70,25	72,97	72,43	1,131	0,370
	15	72,19	72,77	70,36	72,96	1,054	0,385
	18	72,63	71,00	72,92	73,92	0,964	0,345
	EE±	0,768	1,341	0,978	1,040	-	-
	P [§]	0,304	0,384	0,072	0,643	-	-
Energía metabolizable (MJ/kg MS)	12	10,77	10,59	11,02	10,96	0,182	0,175
	15	11,00	11,18	10,88	11,05	0,171	0,708
	18	11,14	10,84	11,05	11,35	0,157	0,290
	EE±	0,125	0,217	0,158	0,168	-	-
	P	0,159	0,189	0,359	0,329	-	-

*MC: momento de cosecha; ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; [§]P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución.

No se apreció efecto ($P>0,05$) de las soluciones nutritivas ni de los momentos de cosecha. Las biomasa hidropónica de maíz producidas en la presente investigación se pueden catalogar como aceptables en cuanto a la EM y la divMO según las sugerencias de la NRC (2001) y Lima *et al.* (2011), quienes plantearon que los niveles de EM y divMO para rumiantes deben estar por encima de 10.5 MJ/kg MS y 70 g/100 g MS, respectivamente. Estos resultados son comparables con los obtenidos por Cerrillo-Soto *et al.* (2012) quienes cosecharon biomasa hidropónica de avena a 12 días de edad.

3.4. Conclusiones parciales

- Las soluciones nutritivas Hoagland, La Molina y FAO influenciaron en el desarrollo de la biomasa hidropónica de maíz mostrando mejores rendimientos y calidad nutricional que la producida con el Testigo.
- El mejor momento para la cosecha de esta biomasa hidropónica de maíz fue a los 12 días después de la siembra dada por su alta productividad sin afectar la calidad nutritiva.

**DEGRADABILIDAD RUMINAL Y
DIGESTIBILIDAD FECAL DE LA
BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ EN
CAPRINOS CRIOLLOS**

Reescrito después de:

Acosta, N., Lima, R., Avellaneda, J., Mirabá, C., 2016. Ruminal degradability and fecal digestibility of hydroponic fresh forage of maize (*Zea mays*) in domestic goats in Santa Elena, Ecuador. Cuban Journal of Agriculture Science, 50(1), 71-75.

CAPÍTULO 4. DEGRADABILIDAD RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD FECAL DE LA BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ EN CAPRINOS CRIOLLOS

4.1. Introducción

El empleo de la biomasa hidropónica de maíz puede ofrecer una posibilidad para compensar la falta de alimentos durante los periodos largos de poca lluvia (100-283 mm, promedio en últimos cinco años (INAMHI, 2015) en Santa Elena-Ecuador), lo que constituye el mayor reto para la producción animal en muchas regiones del trópico (Lima Orozco *et al.*, 2009). En efecto, un eficiente sistema de producción animal requiere una estable calidad y cantidad de alimento a través de todo el año (Ojeda *et al.*, 1991)

Sin embargo, además de las evaluaciones *in vitro*, las pruebas *in vivo* son requeridas para evaluar completamente el valor nutricional (Madsen *et al.*, 1997; Cáceres y González, 2000) y el impacto ambiental de un alimento (Aguar-Zalzano y Rojas-Bourrillon, 2014).

Las pruebas *in vivo* pudieran generar información sobre el alcance de la degradabilidad ruminal, energía metabolizable y el valor proteico para incorporar un alimento en el sistema de alimentación de un animal (Lachmann y Araujo-Febres, 2008). Adicionalmente, emisiones hacia el ambiente deben ser evaluadas a partir del balance de N y la colección de gases ruminales (Aguar *et al.*, 2011).

4.1.1. Objetivo

Evaluar la degradabilidad y digestibilidad de los nutrientes así como el balance de nitrógeno en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz.

4.2. Materiales y métodos

Se dispuso de corrales para caprinos, jaulas metabólicas, bolsas de poliseda (Nylon) 45 μm , cadena de 1/16", fundas de recolección de heces, envases para recolección de orina y tubos de ensayo, balanza analítica (marca Mettler AE 160 Suiza ± 0.01 g), balanza electrónica (Mettler Toledo BBA231-3BC300 de 300 ± 0.1 kg), molino eléctrico de discos para forraje (B&P, Quito-Ecuador) y una estufa (Mettmert-Alemania).

La degradabilidad ruminal de las biomásas hidropónicas de maíz se determinó utilizando cuatro caprinos criollos adultos (3 años de edad) fistulados en el rumen (técnica *in situ*); con peso vivo de $33,9 \pm 0,4$ kg, los cuales fueron alimentados con una dieta de heno de biomasa hidropónica de maíz durante 14 días de adaptación, se les suministró 1 kg MS/animal/día, divididas en tres raciones (08:00, 14:00 y 20:00 horas); se suministró agua y sales minerales *ad libitum*. Para los estudios de degradabilidad ruminal las muestras se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1 mm, se pesó 5 g de cada muestra y se introdujeron al rumen en bolsas de nylon de 5 x 10 cm y 45 μm de porosidad para determinar su degradación a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h, mientras que la hora 0 fueron incubadas en agua contenida en baño María y sujeta a una temperatura de 39 °C durante 15 minutos, para luego ser lavadas. La totalidad de las bolsas lavadas fueron secadas a 65 °C durante 72 h en una estufa con aire forzado para posteriormente pesarlas y estimar la desaparición de materia seca (MS) en el rumen, el residuo de las bolsas fue enviado al laboratorio para su respectivo análisis proximal, la degradabilidad de la MS, MO y PB de las biomásas hidropónicas de maíz se obtuvo aplicando el modelo exponencial propuesto por Ørskov y McDonald (1979) como sigue:

$D = a + b(1 - \exp^{-kft})$; donde, **D** = Porcentaje (%) de degradación acumulada en un tiempo dado; **t** = es el tiempo de incubación en horas (h); **a** = representa el sustrato o

nutrientes solubles que se degrada rápidamente (%); **b** = representa la fracción del sustrato insoluble pero potencialmente degradable (%); **exp** = base de los logaritmos naturales; y, **kf** = tasa fraccional o velocidad de degradación (%/h).

A partir de la degradabilidad *in sacco* se calculó la degradabilidad efectiva en rumen (DER) como sigue:

DER = a + b × kf / (kf + kp), donde **kp** = tasa de paso de la digesta del rumen al omaso (0,03; 0,04 y 0,05 %/h) según Ørskov y McDonald (1979).

Para la determinación de los ácidos grasos de cadena corta se utilizó un cromatógrafo de gases (Chromatograph PYE UNICAM – 304 PHILIPS; Inglés) siguiendo las recomendaciones de Van Nevel y Demeyer (1977). Se recolectó el líquido ruminal y se midió el pH (914/conductometer, Metrohm-Suiza) 30 minutos antes del suministro del alimento y a las 3 y 6 h después del suministro de este por 3 días en días alternos de forma que no interfiriera con el ensayo de colección de gases. Una vez registrado el pH se aplicó al líquido ruminal extraído ácido ortofosfórico al 2 % y se sometió a congelación (-20 °C) para su posterior análisis.

Además, se evaluó la digestibilidad de la biomasa hidropónica de maíz mediante la técnica *in vivo* de recolección total de heces fecales (Bondi, 1988). Se introdujeron cuatro caprinos criollos adultos (3 años de edad) en jaulas metabólicas con peso vivo de $33,9 \pm 0,4$ kg, se les colocó un arnés con dispositivos para recolección de heces y orina y otro para la recolección de gases según las recomendaciones descritas por Lima *et al.* (2011). Se recolectaron las heces durante un período de siete días, tomando un alícuota de 25 % para su procesamiento. Las heces se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C por 72 h, y luego de ser molidas a 1 mm (molino B&P, Quito-Ecuador) se almacenaron en bolsas herméticas a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) hasta su análisis. Además se recolectó la excreción total de orina durante siete días, agregando una

solución de ácido sulfúrico al 10 % para mantener el pH por debajo de 3; después se tomaron muestras de 100 mL y se congelaron a -20 °C hasta su análisis. Los animales fueron adaptados al consumo de heno de biomasa hidropónica de maíz durante 14 días, se les suministró 1 kg MS/animal/día divididas en tres raciones (08:00, 14:00 y 20:00 horas); se suministró agua y sales minerales *ad libitum*.

Además, se determinó el coeficiente de digestibilidad real (CDR) o verdadera como sigue y siguiendo las recomendaciones de Bondi (1988) y Campos *et al.* (2006):

CDR (%) = $\frac{AI - (HF-PE)}{AI} \times 100$, donde **AI** = alimento ingerido; **HF** = heces fecales; y **PE** = productos endógenos.

El manejo y procesamiento de la orina, los gases ruminales y el líquido ruminal fueron realizados mediante las técnicas y procedimientos descritos en Lima *et al.* (2011).

4.2.1. Producción de metano

La emisión total de metano (CH₄, L/d) fue calculada según Lima *et al.* (2011) como sigue:

CH₄ = % CH₄ × (total de gas colectado (L) / 0,498), donde, **% CH₄** = es la proporción del metano (% , v/v) en el gas colectado; se asumió que el gas colectado en 6 h fue un cuarto de la producción diaria de gas y **0,498** = proporción de gas colectado desde la fistula ruminal en el total de gas producido en el rumen.

4.2.2. Flujo duodenal de N microbiano

El flujo duodenal de N microbiano fue evaluado a partir de la excreción de los derivados de purinas: alantoína, ácido úrico y xantina+hipoxantina (Äkta Purifer 10 HPLC (Amershm Pharmacia Biotech AB, Uppsala, Sweden)) y de la conversión de la excreción renal diaria de derivados de las purinas (PD_e) al flujo duodenal diario de N microbiano (FD_{NM}, g N/d) basado en la ecuación de Chen y Gomes (1995):

$FD_{NM}=(PD_a \times 70)/(0,116 \times 0,83 \times 1000)$, donde **70** = contenido de N de las purinas (70 mg N/mmol); **0.116** = relación del N de las purinas en el N total en la mezcla de microbios ruminales; **0.83** = digestibilidad de las purinas microbianas; y, **PD_a** = monto de las purinas microbianas absorbidas por el intestino delgado (mmol/día) calculado como:

$PD_a=0,84 \times PD_e+(0,15 \times PV^{0,75} \times e^{(-0,25 \times PD_e)})$, donde, **PV^{0,75}** = peso vivo metabólico (kg), la pendiente; **0,84** = recuperación de purinas absorbidas en la orina; () el componente entre paréntesis, representa la contribución endógena de los derivados de purinas al total de excreción después de la corrección por la utilización de purinas microbianas por el animal, y **PD_e** = total de purinas excretada en la orina (mmol/d) calculada como la suma de excreción diaria de alantoína, ácido úrico y xantina+ hipoxantina.

4.2.3. Contenido energético

Los contenidos (MJ/kg MS) de energía digestible (ED) y la metabolizable (EM) fueron calculadas como:

$ED=CEB \times dEB/100$, donde, **CEB** = consumo de energía bruta y **dEB** = digestibilidad de la energía bruta (%) (NRC., 1981).

La energía metabolizable (EM), se la determinó con la siguiente fórmula:

$EM=ED \times 0,82$, donde, **0,82** = proporción de EM en la ED (Blaxter, 1962)

4.2.4. Tratamientos y diseño experimental

Para evaluar la degradabilidad ruminal, la producción de metano, el flujo duodenal de N microbiano, la digestibilidad fecal y el balance de nitrógeno se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y cuatro animales donde los días de muestreo constituyeron las réplicas. Todos los animales consumieron las tres dietas (Cross over, Arnau y Viader (1991)). Los resultados de los análisis se procesaron estadísticamente en el SPSS versión 21 (SPSS, 2012) mediante un modelo general lineal anidado (Lima *et al.*, 2011) como sigue:

$$Y_{ijk} = \mu + D_{i=1,2,3} + D(A)_{j=1,\dots,4} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde, μ = media o intercepto; D_i = efecto fijo de la i -ésima dieta (Hoagland vs. FAO vs. La Molina) ($i=1, 2, 3$); $D(A)_j$ = efecto aleatorio del j -ésimo animal dentro de la dieta ($j=1 \dots, 4$); ε_{ijk} = error experimental asociado a las observaciones normalmente distribuidas; adicionalmente, se aplicó la prueba de Tukey (1949) para detectar la significancia entre las dietas cuando el valor de P para la variable dieta fue menor que 0,05.

4.2.5. Manejo del experimento

4.2.5.1. Dietas experimentales

Se utilizó la biomasa hidropónica de maíz cosechadas a 12 días de edad y fertilizadas con tres soluciones nutritivas (FAO, Hoagland y La Molina), ya que estas biomásas cubrían los requerimientos nutricionales de mantenimiento diario [54 g PB y 5,78 MJ (NRC, 2001; Elizondo, 2002)] de los caprinos ($33,9 \pm 0,4$ kg PV) en estudio sin necesidad de adicionar otro ingrediente. En la Tabla 1.4 se detallan las ofertas de nutrientes a través de la biomasa hidropónica de maíz suministrada a los caprinos para las técnicas *in situ* e *in vivo*.

Tabla 1.4. Requerimientos nutricionales y oferta de nutrientes para caprinos, en un kilogramo de materia seca de biomasa hidropónica de maíz

Oferta de nutrientes en 1 kg MS			
Nutrientes (g/día)	Heno de biomasa hidropónica de maíz		
	Hoagland	FAO	La Molina
Proteína bruta	198	139	161
Materia orgánica	976	972	970
Extracto etéreo	28	39,6	46,4
Ceniza	24	28	30
Carbohidratos no fibrosos	219	250,4	184,6
Fibra detergente neutro	531	543	578
Energía metabolizable (MJ/día)	11,38	11,12	11,52

*Fuente: Elizondo (2002); NRC (2001)

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Consumo voluntario de materia seca y nutrientes básicos

En la Tabla 2.4, se presenta el efecto de biomazas hidropónicas de maíz en el consumo voluntario de materia seca total, nutrientes básicos y su relación entre ellos.

Tabla 2.4. Efecto de la biomazas hidropónicas de maíz sobre el consumo voluntario de materia seca, nutrientes básicos y su relación con el peso vivo y metabólico de caprinos criollos

Indicadores	Biomasa hidropónica de maíz			EE $\pm\phi$	P †	
	Hoagland	FAO	La Molina		D	D(A)
CMS, kg/animal/d	0,89	0,93	0,88	0,014	0,741	0,125
CMS, g/kg PV	26,21 ^b	27,84 ^a	25,77 ^b	0,320	0,011	0,482
CMS, g/kg PV ^{0,75} /d	63,15	66,33	62,24	0,907	0,612	0,114
CMS, % PV	2,62	2,75	2,58	0,037	0,568	0,103
CPB, kg/animal/d	0,18 ^a	0,13 ^c	0,14 ^b	0,003	<0,001	0,531
CPB, % PV	0,52 ^a	0,38 ^c	0,42 ^b	0,183	<0,001	0,475
CFDN, kg/animal/d	0,47 ^a	0,51 ^b	0,50 ^{ab}	0,006	0,007	0,873
CFDN, % PV	1,39 ^a	1,49 ^b	1,46 ^{ab}	0,137	<0,001	0,889
CCNF, kg/animal/d	0,19 ^b	0,23 ^a	0,16 ^c	0,003	<0,001	0,531
CCNF, % PV	0,57 ^b	0,69 ^a	0,48 ^c	0,066	<0,001	0,563
CFDN:CCNF, g/g	2,43 ^b	2,17 ^a	3,06 ^c	0,024	<0,001	0,114
CFDN:CPB, g/g	2,68 ^a	3,91 ^c	3,52 ^b	0,027	<0,001	0,114
CEM, MJ/animal/d	10,10 ^b	10,76 ^a	9,75 ^b	0,164	<0,001	0,447

Letras en superíndice distintas en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949); ϕ EE: Error estándar; † Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con D: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y D(A): animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta; CMS: consumo voluntario de materia seca total; PV: peso vivo; PV^{0,75}: peso vivo metabólico; CPB: consumo de proteína bruta; CFDN: consumo de fibra detergente neutro; CCNF: consumo de carbohidratos no fibrosos; CEM: consumo de energía metabolizable.

Según García-Castillo *et al.* (2013), una adecuada ingesta de carbohidratos no fibrosos (CNF) es necesaria para proporcionar la suficiente producción de ácido propiónico que ayude a satisfacer las necesidades de energía del animal, permita la adecuada síntesis de proteína microbiana y mantenga la normal digestión de fibra así como otras funciones del rumen. Estos autores plantean que la insuficiencia de CNF puede disminuir la energía disponible para la producción de ácido propiónico y láctico, reducir la síntesis

de proteína microbiana y disminuir la digestión de fibra. Por otro lado, el exceso de CNF puede disminuir la digestibilidad de la fibra, la producción de ácido acético y el porcentaje de grasa en la leche, así como causar anomalías en el tejido del rumen, que puede llevar a la aparición de úlceras y abscesos hepáticos. en el presente trabajo la relación FDN:CNF de las biomásas hidropónicas de maíz oscilaron entre 2,17 y 3,13 lo que se cataloga como buena debido a que esas relaciones pueden permitir niveles adecuados de AGCC (Gutiérrez *et al.*, 2012; Cárdenas-Villanueva *et al.*, 2013).

Respecto a los carbohidratos no-estructurales, estos están mayormente presente en los granos y están compuestos por almidones, azúcares y pectinas, se fermentan rápido y completamente en el rumen; sin embargo, si son consumidos en un corto período de tiempo pueden incrementar la producción de lactato por encima del poder amortiguador del rumen y con ello provocar acidosis ruminal y/o metabólica (Owens *et al.*, 2009).

Por otro lado la FDN se utiliza como índice de volumen de la ración y supone un límite a la capacidad de ingestión de la ración por lo que Bach *et al.* (2005) sugieren que la capacidad de ingestión de los animales se estima como el consumo del 1,2 % del peso vivo en forma de FDN, además plantean que por encima de este nivel la FDN puede limitar la ingestión de alimentos y en ningún caso el consumo de FDN debe superar el 1,5 % del peso vivo. En el presente estudio, los consumos de FDN de las biomásas hidropónicas de maíz están en los rangos máximos permisibles lo que pudo limitar el consumo de MS de los animales. Además es conocido que la fibra como nutriente contribuye al funcionamiento normal del rumen, es decir estimula las contracciones ruminales, mantiene el pH estable a través de la secreción salivar e incita a la rumia (Orellana *et al.*, 1998). sin embargo, estas funciones dependen de la composición, degradabilidad y forma de presentación de la fibra; es importante recalcar que la fibra supone un inconveniente, ya que limita el contenido energético de las raciones y el potencial de ingestión (Britos *et al.*, 2006). No obstante, al mantener estable los niveles de pH podrían producirse cantidades adecuadas de AGCC que proporcionen la energía

suficiente para utilizar el nitrógeno ruminal disponible por los microorganismos y el hospedero, situación que favorece el mayor consumo de MS (Gutiérrez *et al.*, 2012).

4.3.2. Cinética de degradabilidad ruminal

Los parámetros de degradabilidad ruminal se detallan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Degradabilidad ruminal de nutrientes en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida a 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas

Parámetros	Soluciones nutritivas			EE± ^φ	P [†]	
	Hoagland	FAO	La Molina		D	D(A)
	Media	media	media			
Degradabilidad ruminal de la MS (g/100 g)						
a	47,2	47,2	50,6	1,733	0,347	0,865
b	63,3	60,6	57,4	0,003	0,517	0,913
kf (/h)	0,03	0,03	0,03	0,002	0,657	0,533
DER_3 %	77,5	76,8	79,0	0,884	0,287	0,713
DER_4 %	73,0	72,5	74,9	1,094	0,331	0,767
DER_5 %	69,7	69,3	71,9	1,236	0,350	0,796
R ²	0,975	0,967	0,937	-	-	-
Degradabilidad ruminal de la MO (g/100 g)						
a	47,1	48,7	48,9	0,964	0,430	0,148
b	61,8	61,2	62,5	1,146	0,720	0,424
kf (/h)	0,03	0,03	0,03	0,003	0,053	0,169
DER_3 %	77,6	77,7	77,5	0,517	0,941	0,443
DER_4 %	73,2	73,4	73,1	0,575	0,931	0,413
DER_5 %	69,9	70,2	69,9	0,618	0,928	0,380
R ²	0,978	0,969	0,938	-	-	-
Degradabilidad ruminal de la PB (g/100 g)						
a	58,0 ^a	52,5 ^{ab}	49,3 ^b	1,869	0,043	0,473
b	29,5	38,6	36,7	3,481	0,233	0,283
kf (/h)	0,06	0,04	0,04	0,013	0,526	0,625
DER_3 %	76,5 ^a	74,7 ^a	67,0 ^b	1,138	0,002	0,515
DER_4 %	74,2 ^a	72,0 ^a	64,6 ^b	1,150	0,002	0,520
DER_5 %	72,9 ^a	70,0 ^a	62,9 ^b	1,148	0,002	0,475
R ²	0,964	0,989	0,947	-	-	-

Letras en superíndice distintas en las medias de la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949) ^φEE: Error estándar; **a**, **b**, **kf**: parámetros de la degradabilidad ruminal, “**a**”: fracción soluble; “**b**” fracción potencialmente degradable en el rumen; **kf**: velocidad de degradación; **DER**: degradación efectiva en rumen calculada con tasas de pasaje ruminal del 3 al 5 %; [†]Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con **D**: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y **D(A)**: animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta.

Los resultados de degradabilidad ruminal muestran niveles altos de degradación de la MS, MO y PB, además expresan que no hay diferencias ($P > 0,05$) en las fracciones “a” y “b”, ni en las DER ($k_p = 0,03; 0,04$ y $0,05$) de la materia seca MS y MO exhibidos por las biomásas hidropónicas de maíz producidas con diferentes soluciones nutritivas.

La fracción “a” de la degradación de la materia seca de la biomasa hidropónica de maíz corresponde a las sustancias nutritivas simples como los carbohidratos solubles (azúcares simples) y fracciones proteicas (aminoácidos libres y nitrógeno no proteico y amidas) fácilmente degradables (Naik *et al.*, 2014).

En la investigación que publicaron Herrera-Torres *et al.* (2010) la biomasa hidropónica de trigo cosechada a 12 días mostró un 34,8 % de fracción “a”, valores inferiores a los obtenidos en la presente investigación; al respecto Dhanoa *et al.* (1999) manifiestan que estas sustancias nutritivas cuando existen en proporciones elevadas en las plantas son fácilmente degradables en el rumen, y al ser consumidas por los rumiantes, favorecen el crecimiento de los microorganismos ruminales. No obstante La biomasa hidropónica de maíz por contener niveles altos de esta fracción (“a”) podrían superar la capacidad de aprovechamiento de estas sustancias nutritivas por parte de la microbiota ruminal y afectarían desfavorablemente su utilización (NRC, 2001).

La fracción “b” de la degradación de la materia seca de la biomasa hidropónica de maíz corresponde a las sustancias nutritivas lentamente degradables en el rumen y está formada por la celulosa y hemicelulosa, principalmente (Fazaeli *et al.*, 2012); su degradación en el rumen se limita por la relación estrecha que existe con los compuestos fenólicos como la lignina (Müller, 2005). La degradabilidad ruminal de la materia seca acumulada a las 48 h publicada por Herrera Angulo *et al.* (2007) cuando evaluaron la biomasa hidropónica de maíz cultivada sobre sustrato de cascarilla de arroz y cosechada a los 12 días de edad fue de 42,2 %, inferior a la obtenida en la presente investigación, estos autores sugieren esta baja degradabilidad a la concentración de lignina de su sustrato.

Por otra parte la degradabilidad efectiva de la materia seca y orgánica en el rumen calculada a diferentes tasas de pasaje ruminal ($k_p = 3; 4$ y 5%), no presentó diferencias ($P > 0,05$), no obstante independientemente de la solución nutritiva utilizada, a medida que se incrementó la velocidad de pasaje ruminal por encima del 3% (k_p), la degradación efectiva de la materia seca y materia orgánica disminuyó tres o cuatro puntos porcentuales por cada punto porcentual de incremento en la velocidad de pasaje. Sin embargo, todos los promedios son cercanos a los 70 g digestibles/ 100 g de nutriente, aspecto catalogado como aceptable para dietas destinadas a rumiantes según los reportes del NRC (2001) y Lima *et al.* (2011).

Los resultados de la DER de la materia seca y orgánica calculados con las diferentes velocidades de pasaje ruminal son diferentes a los obtenidos por Herrera-Torres *et al.* (2010) quienes consiguieron promedios de $66,8 \%$ en la biomasa hidropónica de trigo cosechada a 12 días de edad, al parecer influenciado por los contenidos de FAD en esta biomasa. En este sentido, Van Soest (1994) manifestó que una decreciente digestibilidad de los forrajes puede estar negativamente correlacionada con los tenores de FDN, FDA y consecuentemente con el valor energético, pues con la maduración de la planta las concentraciones de componentes digestibles como los carbohidratos solubles, proteínas, minerales y otros contenidos celulares se reducen; mientras que la proporción de lignina, celulosa, hemicelulosa y otras fracciones indigestibles aumentan. Por otra parte, Cerrillo-Soto *et al.* (2012) alcanzaron valores de materia orgánica similares a los obtenidos en la presente investigación con velocidades de pasaje ruminal del 3% cuando estudiaron la producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena a los 12 días de edad.

Además, según Kamalak *et al.* (2005) la materia orgánica digerida por los microorganismos ruminales se convierte en un indicador de la cantidad de nutrientes disponibles para los animales y se relaciona estrechamente con el contenido energético de los forrajes de ahí la importancia de su estudio.

En las Figuras 1.4 y 2.4 se grafican la degradabilidad ruminal de la materia seca y materia orgánica de la biomasa hidropónica de maíz cultivada a 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

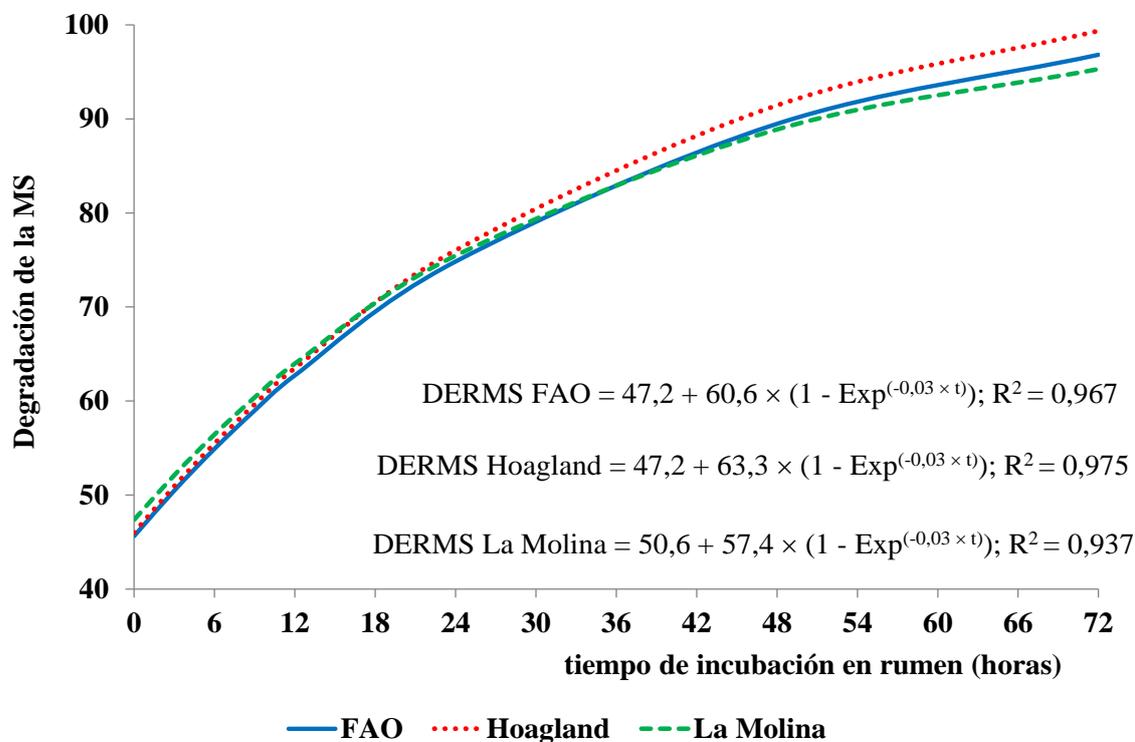


Figura 1.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia seca (DERMS) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

Así mismo, al evaluar el efecto de las soluciones nutritivas sobre los parámetros de degradabilidad de la proteína bruta de las biomásas hidropónicas de maíz se encontró en la fracción “a” que las soluciones nutritivas Hoagland y FAO fueron similares ($P < 0,05$), y las soluciones FAO y La Molina también, sin embargo, las biomásas hidropónicas de maíz producidas con las soluciones Hoagland y La Molina ($P < 0,05$) fueron diferentes.

En el presente estudio la biomasa hidropónica de maíz obtuvo fracciones solubles de la proteína bruta comparables con leguminosas y henos, donde la proteína soluble constituye una parte importante de la proteína total (Knott *et al.*, 2008).

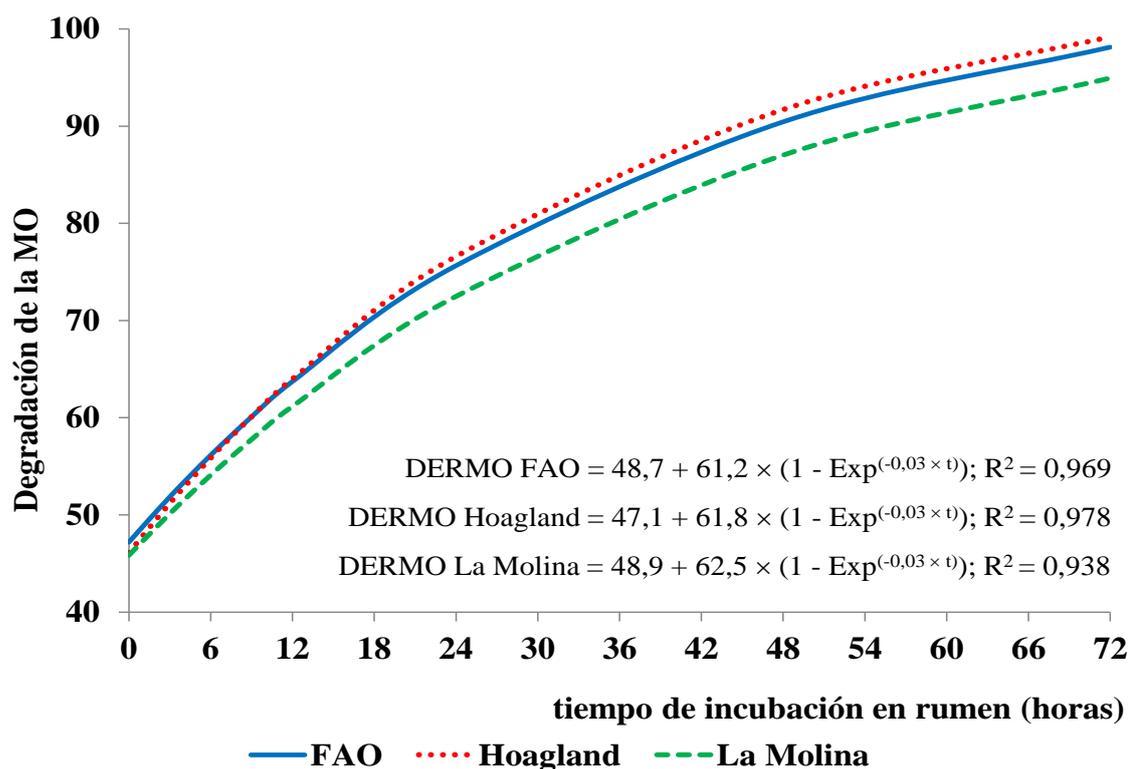


Figura 2.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia orgánica (DERMO) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

La degradabilidad de la fracción soluble (“a”) de la proteína bruta fueron en todas las BHM producidas con diferentes soluciones nutritivas inferiores a la fracción “a” (59,4 %) obtenida por Herrera-Torres *et al.* (2010) cuando cosecharon biomasa hidropónica de trigo a los 12 días de edad. Además, la fracción lentamente degradable “b” fue inferior cuando se utilizó la solución nutritiva Hoagland y superior cuando se utilizaron las soluciones FAO y La Molina comparada al porcentaje de la fracción “b” mostrada (33,1 %) por la biomasa hidropónica de trigo cosechada a los 12 días de edad por Herrera-Torres *et al.* (2010).

Según Van Soest *et al.* (1991), la proteína soluble de los forrajes disminuye con la madurez de la planta, teniendo un efecto directo la edad de la planta y el grosor de la pared celular. Al respecto, la degradabilidad efectiva en el rumen de la PB de las biomásas hidropónicas de maíz producidas con las soluciones Hoagland y FAO calculadas con velocidades de pasaje de 3, 4 y 5 % (kp) fueron superiores ($P < 0,05$) que

las DERPB, calculada con las mismas velocidades de pasaje ruminal, de la BHM producida con la solución La Molina; no obstante, independientemente de la solución nutritiva utilizada, a medida que se incrementó la velocidad de pasaje ruminal por encima del 3 % (kp), la degradación efectiva de la proteína bruta en el rumen disminuyó dos puntos porcentuales por cada punto porcentual de incremento en la velocidad de pasaje. Aunque hay que tener en cuenta que la degradabilidad de la proteína de los forrajes depende de las formas proteínicas de reserva, de su localización en el interior de las paredes celulares, de las características físicas y químicas del forraje y del estado fenológico de los pastos (Tamminga *et al.*, 1994; Favardin *et al.*, 2011; Tresina-Pious y Mohan-Veerabahu, 2012).

En esta dirección, en la Figura 3.4, se grafica la cinética de degradación ruminal de la proteína bruta (PB) de las biomásas hidropónicas de maíz cultivadas a 12 días de edad con diferentes soluciones nutritivas.

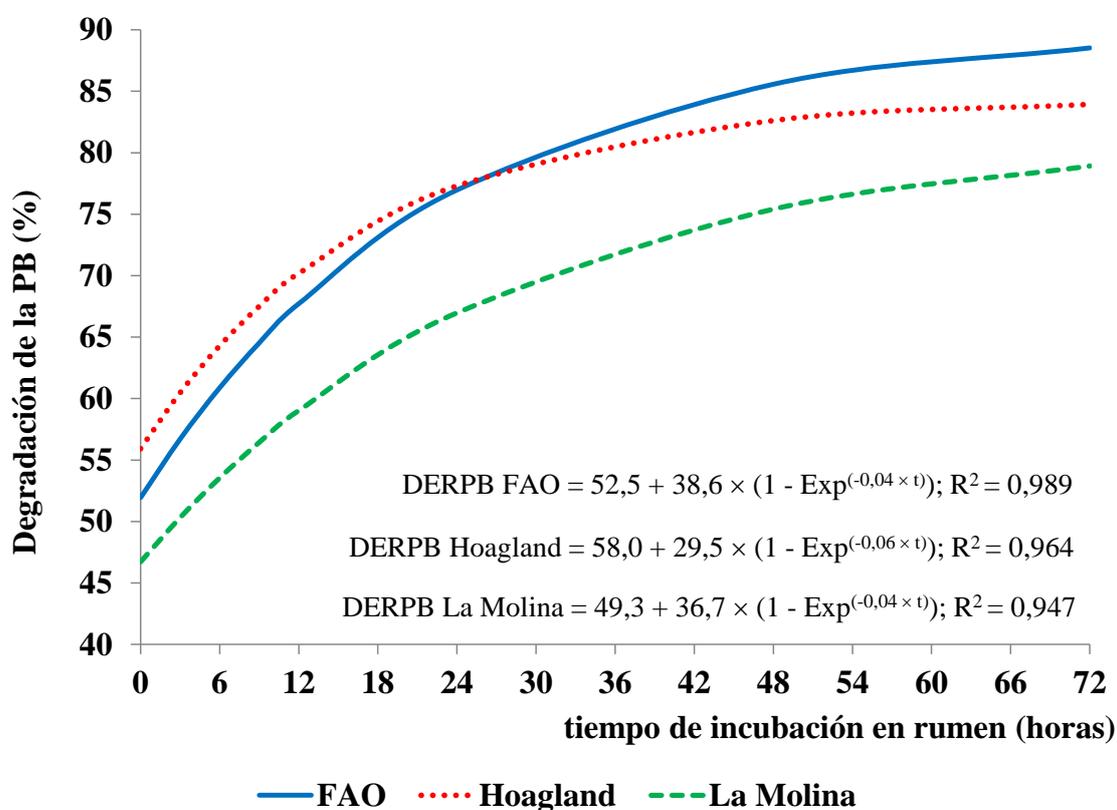


Figura 3.4. Degradabilidad efectiva en el rumen de la proteína bruta (DERPB) de la biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

4.3.3. Digestibilidad fecal

En cuanto a la digestibilidad fecal de la MS, MO, PB y EB (Tabla 4.4), se evidenció que hubo un efecto de las soluciones nutritivas sobre estas ($P < 0,001$); donde las biomásas producidas con las soluciones Hoagland y FAO obtuvieron las mejores digestibilidades. Al respecto, Herrera Angulo *et al.* (2007) evaluaron la digestibilidad aparente de la MS de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo sustrato de cascarilla de arroz y suministrada a los animales integralmente (sustrato + BHM) llegando a valores de 55,9 %; estos autores sugirieron que este bajo valor debió estar relacionado con la utilización de cascarilla de arroz y su alto contenido de lignina.

Tabla 4.4. Digestibilidad fecal de la materia seca, materia orgánica, proteína bruta y energía bruta de cabras criollas alimentadas con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

Parámetros	Soluciones nutritivas			EE± ^φ	<i>P</i> [†]	
	Hoagland	FAO	La Molina		D	D(A)
	Media	media	media			
<i>Digestibilidad fecal aparente (g/100 g)</i>						
Materia seca	93,1 ^a	85,4 ^b	78,7 ^c	0,235	0,001	0,620
Materia orgánica	84,7 ^a	85,0 ^a	81,2 ^b	0,803	0,001	0,584
Proteína bruta	80,3 ^a	80,1 ^a	77,7 ^b	0,546	0,008	0,219
Energía bruta	85,1 ^a	85,5 ^a	82,2 ^b	0,234	0,001	0,349
<i>Energía (MJ/kg MS) expresada como:</i>						
Energía digestible	13,89	14,05	13,56	0,118	0,060	0,185
Energía metabolizable	11,38	11,52	11,12	0,105	0,086	0,104

Letras en superíndice distintas en las medias de la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949); ^φEE: Error estándar; [†]Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con **D**: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y **D(A)**: animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta.

Del mismo modo, Galina *et al.* (2009) evaluó la digestibilidad *in vivo* de la materia seca y materia orgánica de dos dietas: T1: 50 % de heno de alfalfa, 40 % de concentrado y 10 % de un suplemento nitrogenado de lento consumo y T2: T1+ 50 mL/kg de MS de un probiótico (BAL), logrando digestibilidades *in vivo* de la MS (T1: 85,5 %; T2: 87,41 %, respectivamente); y MO (T1: 93,25 %; T2: 91,96 %, respectivamente), valores estos superiores a los mostrados por las BHM en esta investigación, lo que pudo estar dado por la inclusión en los estudios de Galina *et al.* (2009) en probiótico, alfalfa y concentrados que muestran altas digestibilidades, debido a los bajos contenidos de la pared celular. En esta línea, Maynard *et al.* (1989) explicaron que la digestibilidad puede ser limitada por falta de tiempo para realizar la acción digestiva completa en sustancias que son de lenta digestión, o bien, por falta de absorción completa; tal efecto aumenta por el rápido tránsito de alimentos a través del tracto digestivo.

Los contenidos de energía digestible (ED) y metabolizable (EM) fueron similares ($P>0,05$) entre las biomásas hidropónicas de maíz producidas con diferentes soluciones nutritivas. Los resultados mostrados por las BHM en la presente investigación referente al contenido energético son superiores o comparables con los resultados descritos por Cerrillo-Soto *et al.* (2012) quienes publicaron 11,30 MJ de EM/kg MS en biomásas hidropónicas de trigo y 9,20 MJ de EM/kg MS en avena; sin embargo inferiores a los reportados por Herrera-Torres *et al.* (2010), quienes obtuvieron promedios de 13,4 y 13,2 MJ de EM/kg MS al cosechar biomasa hidropónica de trigo a los 10 días y BHM a los 12 días, respectivamente. Estos contenidos energéticos son vitales para el buen funcionamiento del rumen, pues los microorganismos del rumen utilizan de forma eficiente los carbohidratos estructurales de las plantas jóvenes y su contenido celular como es el caso de las biomásas hidropónicas (Romero, 2012).

4.3.4. Producción de metano

En la Tabla 5.4 se presenta la producción de metano y la concentración de ácidos grasos de cadena corta en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.

Tabla 5.4. Producción de metano y concentración de ácidos grasos de cadena corta en cabras criollas alimentadas con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

Parámetros	Soluciones nutritivas			EE± ^φ	P [†]	
	Hoagland Media	FAO Media	La Molina media		D	D(A)
CH₄ expresado como:						
L/día	12,2	11,8	12,9	0,311	0,857	0,165
L/kg DERMS [§]	15,9	15,0	16,6	0,638	0,659	0,164
AGCC (mmol/L) y proporción individual de AGCC (mmol/mol AGCC)*						
AGCC	155	164	159	8,712	0,927	0,440
Acetato	642	628	650	9,625	0,463	0,960
Propionato	229	243	229	8,927	0,753	0,968
Butirato	105	102	93,1	4,115	0,202	0,445
Isobutirato	2,71	1,91	3,46	0,915	0,633	0,549
Isovalerato	11,7	15,4	14,6	2,832	0,773	0,625
Valerato	8,86	10,7	9,91	0,942	0,583	0,943
Otros						
pH	6,66	6,62	6,62	0,069	0,989	0,095
Lactato, mmol/L	3,84	3,67	4,02	0,210	0,621	0,231
NH ₄ , mmol/L	6,04	6,33	5,16	0,944	0,832	0,323

^φEE±: Error estándar; [†]Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con **D**: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y **D(A)**: animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta; [§]DERMS: Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia seca; *AGCC: Ácidos grasos de cadena corta.

Al respecto, las biomásas hidropónicas de maíz producidas con las soluciones nutritivas Hoagland, FAO y La Molina presentaron iguales ($P>0,05$) producciones de metano siendo estas inferiores a las producciones mostradas por Aguilera (2001) en su estudio (33,5 L/día) alimentando caprinos con una dieta basada en heno de alfalfa y granos de

cebada. Así mismo Lima *et al.* (2011) alimentando ovejas con forrajes frescos y ensilajes de sorgo-soya (plantas completas) encontraron producciones de 32,8 y 19,8 L de metano/día, respectivamente.

Por otro lado, Cerrillo-Soto *et al.* (2012) publicaron producciones estimadas de 44,6 y 61,2 L CH₄/kg MS para las biomásas hidropónicas de avena y trigo, respectivamente; así como Herrera-Torres *et al.* (2010) reportaron valores estimados de 93,2; 87 y 77,5 L CH₄/kg MS para las biomásas hidropónicas de trigo cosechadas a los 8, 10 y 12 días de edad, respectivamente.

Según Carmona *et al.* (2005) el metano es producido por microorganismos del rumen durante la fermentación anaeróbica de los carbohidratos solubles y estructurales principalmente, siendo estos últimos preponderantes en dietas basadas en forrajes, por otra parte Johnson y Johnson (1995) indicaron que los principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son: la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen y la relación de ácidos grasos volátiles producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano. Estos autores declararon que el aspecto de mayor impacto en la metanogénesis es la relación ácido acético:ácido propiónico y que si esta relación llega a 0,5 la pérdida energética pudiera ser nula; sin embargo, si todos los carbohidratos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico las pérdidas energéticas podrían llegar al 33%. En tal sentido, según López *et al.* (2011) la relación acético:propiónico puede variar entre 0,9 y 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente.

La relación ácido acético:ácido propiónico obtenida en esta investigación fue de 2,58 (FAO); 2,80 (Hoagland) y 2,83 (La Molina), logrando bajas tasas de producción de metano y con ello menor pérdida energética por este concepto (Montenegro y Abarca, 2000). Sin embargo, Yokoyama y Johnson (1993) indicaron que la producción de

metano, en lugar de representar ineficiencia para el rumiante, promueve una fermentación más eficaz y mayores rendimientos en la síntesis de ATP al mantener baja la concentración de hidrogeniones y con ello un pH adecuado para el normal funcionamiento del rumen. A decir de estos autores esto implica que mayores rendimientos de ATP determinen la formación de más células microbianas con lo que aumenta la proteína disponible para el rumiante.

De la misma manera Álvarez-Nivia (2009) informó que los ácidos grasos volátiles de importancia nutritiva en el rumen son los ácidos acético, propiónico y butírico, productos principales del metabolismo de los carbohidratos en el rumen. Según estos autores, estos son las fuentes de energía más importantes para el metabolismo energético en los rumiantes. Además, cuando se utiliza las biomásas hidropónicas de maíz no solo debe tenerse en cuenta el potencial energético de las plantas que han germinado y desarrollado sino también del de las semillas que no germinaron y que se quedaron atrapadas entre las raíces y que al ser consumidas por el animal son una fuente importante de almidón (Wright *et al.*, 2004).

Según López *et al.* (2011) en cuanto al metabolismo energético de los rumiantes hay que tener en cuenta las proteínas, estas en el rumen son vulnerables, debido a que están formados por compuestos de carbono las cuales se pueden reducir con el fin de proveer energía a los microbios ruminales. No obstante, acorde a Lehninger (1987) para que un aminoácido entre a las vías de los ácidos grasos volátiles, primero es desaminado para dar lugar al amoníaco y a un esqueleto de carbono que puede ser metabolizado y convertido fundamentalmente en iso ácidos. Al respecto en la presente investigación el Isovalerato e Isobutirato no presentaron diferencias ($P>0,05$) entre las biomásas hidropónicas de maíz producidas con diferentes soluciones nutritivas. Estos ácidos grasos de cadena lateral son factores de crecimiento importante para varias de las

especies de bacterias ruminales, lo que puede contribuir a un aumento en el aporte de proteína microbiana del rumen al intestino, en el que las BHM producidas con la FAO o La Molina pudieron ser beneficiadas (17.31 o 18.06 mmol de iso ácidos/mol AGCC, respectivamente) con respecto a la BHM producida con la solución Hoagland (14.41 mmol de iso ácidos/mol AGCC).

Al analizar el pH ruminal y la concentración de ácidos grasos de cadena corta (Tabla 5.4) estos fueron similares ($P>0,05$) entre las biomásas hidropónicas de maíz producidas independientemente de la solución nutritiva empleada. Según Calabro *et al.* (2007) el pH ruminal no solo es el resultado de la cantidad de ácido producido, sino también de la capacidad tampón del medio. Además, el rango de pH adecuado en el rumen oscila entre 6.2 y 7.0; aunque de todos los factores existentes en el ambiente ruminal, el pH es el más susceptible a sufrir variaciones, y la ración que se suministre es el más determinante de todos los cambios de pH en el que el mantenimiento del pH ruminal es de vital importancia para alcanzar un funcionamiento adecuado del rumen, pero esta estabilidad es el resultado de la producción, neutralización o eliminación de protones hacia el medio ruminal (Kumar *et al.*, 2009).

Los resultados de pH obtenidos en la presente investigación son ligeramente inferiores (6,62 y 6,66) a los publicados por Gutiérrez *et al.* (2012), quienes estudiaron un aditivo microbiano en el consumo voluntario de la materia seca en caprinos Saanen, encontrando pH ruminales que oscilaron entre 6,89 y 6,99 alimentando cabras con heno de *Brachiaria brizantha* y suplementados con VITAFERT (un subproducto rico en lactobacilos, levaduras y ácidos orgánicos de cadenas carbonadas cortas), lo que pudo mantener la estabilidad del pH; sin embargo, la producción total de AGCC de las biomásas hidropónicas de maíz difieren con los resultados mostrados por las dietas empleadas por estos autores (68,91 a 74,08 mmol/L).

Por otra parte, en la Tabla 6.4, se presenta la producción de derivados de purinas y flujo duodenal de nitrógeno microbiano (FD_{NM}) en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas.

Tabla 6.4. Producción de derivados de purinas y flujo duodenal de nitrógeno microbiano (FD_{NM}) en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

Parámetros	Soluciones nutritivas			EE_{\pm}^{ϕ}	P^{\dagger}	
	Hoagland	FAO	La Molina		D	D(A)
	Media	Media	media			
Derivados de Purinas						
Alantoína	6,32	7,37	6,30	1,214	0,883	0,169
Ácido úrico	3,58	3,60	3,02	0,672	0,751	0,102
Xantinas + hipoxantinas	0,95	0,93	0,72	0,277	0,907	0,172
PD_e (mmol/d)	10,87	11,88	10,03	1,988	0,930	0,182
PD_a (mmol/d)	9,25	10,10	8,61	1,612	0,931	0,181
FD_{NM} (g N/d)	6,73	7,35	6,26	1,172	0,930	0,175
FD_{NM} (g N/kg DERMS)	15,44	17,78	15,08	2,300	0,726	0,069

$^{\phi}EE_{\pm}$: Error estándar; † Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con **D**: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y **D(A)**: animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta; PD_e = Derivados de purinas totales excretadas en la orina; PD_a = Purinas microbianas absorbidas en el intestino delgado; FD_{NM} = Flujo duodenal de N microbiano; **DERMS**= Degradabilidad efectiva en el rumen de la materia seca.

Al analizar la concentración de derivados de purinas y del flujo duodenal de nitrógeno (FD_{NM}) en caprinos criollos, se encontró que los parámetros estudiados fueron similares ($P>0,05$) al comparar las biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas (Hoagland, FAO y La Molina). La producción total de purinas excretadas en la orina (PD_e mmol/d) indica que los resultados del presente trabajo son comparables con los obtenidos por Alayon *et al.* (1998) quienes suministraron dietas con *Cynodon nlemfuensis*, suplementadas con 20 y 30 % de *Gliricidia sepium* a ovejas,

logrando índices de 9,9 y 11,3 mmol/d; y cuando suministraron la dieta control más 10 % de *Gliricidia sepium* alcanzaron producciones de 6,2 y 6,6 mmol/d respectivamente, indicando que a medida que se incrementan los niveles de proteína en la dieta, la producción de derivados púricos se incrementó proporcionalmente.

Por otro lado, Archimède *et al.* (1997) indicaron que la cuantificación de la síntesis de proteína microbiana es uno de los puntos claves en todos los sistemas de alimentación de los rumiantes. En este sentido, la estimación del FD_{NM} a partir de la excreción urinaria de derivados de purinas (DP) se ha impuesto como un método fácil y sobre todo, no invasivo. Los valores de excreción urinaria de DP y del FD_{NM} obtenidos en este trabajo son comparables con los obtenidos por Carro *et al.* (2000) en ovejas, principalmente cuando suministraron niveles bajos de concentrado en la dieta, es así que Van Soest (1994) indicó que a niveles altos de ingestión se produce un mayor flujo de partículas que abandonan el rumen, y por ello pasan al duodeno una mayor cantidad de bacterias adheridas a ellas.

Los resultados mostrados en el presente trabajo son diferentes a los reportados por Lima *et al.* (2011) quienes suministraron a ovejas forrajes frescos y ensilados de sorgo-soya (plantas completas) y encontraron un FD_{NM} de 25,5 y 37,3 mmol/d respectivamente; así mismo difieren de los hallazgos de Noro *et al.* (2012) al alimentar ovinos con dosis moderadas y elevadas de nitrógeno no proteico (27,5 y 27,4 mmol/d, respectivamente).

Si se consideran los derivados de purinas (alantoína, ácido úrico y xantinas + hipoxantinas) se observa que los resultados encontrados por Alayon *et al.* (1998) son diferentes a los de esta investigación, siendo la alantoína (4,1 y 4,8 mmol/d); ácido úrico (5,3 y 6,1 mmol/d) y xantinas + hipoxantinas (0,5 y 0,3 mmol/d) para las dietas suplementadas con 20 y 30 % de *Gliricidia sepium*, respectivamente; y comparables a los obtenidos por Noro *et al.* (2012) que reportaron promedios de alantoína (17,6 y 16,7

mmol/d); xantina (43,22 y 3,23 mmol/d) y ácido úrico (1,22 y 1,28 mmol/d) cuando alimentaron ovejas con dietas con dosis moderadas y elevadas de nitrógeno no proteico, respectivamente.

Así mismo al analizar los resultados del flujo duodenal de proteína microbiana (g N/d) obtenidas por la ingesta de las biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con las soluciones Hoagland, FAO y La Molina éstas no presentaron diferencias ($P>0,05$) entre ellas, a pesar de que se evidenció que la BHM producida con la solución FAO mostró un valor numérico superior. Los resultados del FD_{NM} hallados en la presente investigación difieren a los resultados reportados por Alayon *et al.* (1998) quienes alimentando ovejas con dietas de *Cynodon nlemfuensis* suplementadas con 20 y 30 % de *Gliricidia sepium* alcanzaron FD_{NM} de 8,4 y 9,6 g N/d; y cuando suministraron la dieta control o la dieta control más 10 % de *Gliricidia sepium* alcanzaron FD_{NM} de 4,9 y 5,4 g N/d, respectivamente. Los resultados en este acápite sugieren que la biomasa hidropónica de maíz debe ser suplementada con un alimento integral (que aporte energía y proteína verdadera) o un alimento energético que permita equilibrar su desbalance en la relación energía/proteína bruta, en aras de alcanzar al menos 24 g de FD_{NM} , catalogado como un indicador de funcionabilidad normal del rumen con su consecuente efecto sobre el buen desempeño productivo de los animales (Tamminga *et al.*, 1994).

En la Tabla 7.4, se detalla el balance de nitrógeno en caprinos alimentados con biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas.

El consumo de N, y la urea urinaria (g N/día) fueron superiores ($P<0,001$) en la biomasa hidropónica de maíz cultivada con la solución Hoagland, pero al mismo tiempo los animales eliminaron más N en las heces y en la orina, manteniendo una retención similar ($P>0,05$) a las otras biomásas hidropónicas en estudio, esto obedece al mayor

contenido de N de esta biomasa cuando fue producida con la solución Hoagland (Tabla 3.3).

Tabla 7.4. Balance de nitrógeno en caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz producida con diferentes soluciones nutritivas

Parámetros	Soluciones nutritivas			EE± ^φ	P [†]	
	Hoagland	FAO	La Molina		D	D(A)
	media	media	media			
Balance de nitrógeno (g N/día)						
Consumo	27,67 ^a	22,60 ^b	19,74 ^c	1,068	<0,001	0,104
Heces fecales	5,45 ^a	4,50 ^b	4,40 ^b	0,225	0,024	0,243
Urea urinaria	19,66 ^a	15,60 ^b	12,97 ^c	0,804	<0,001	0,375
Retención	2,56	2,51	2,37	0,087	0,385	0,544

Letras en superíndice distintas en las medias de la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949); ^φEE±: Error estándar; [†]Refiere a la significación estadística según el modelo general lineal con **D**: efecto del tipo de dieta producida con diferentes soluciones nutritivas y **D(A)**: animal como efecto aleatorio dentro de cada dieta.

De la misma manera, al analizar el consumo de N (g N/día) en los caprinos alimentados con la biomasa hidropónica de maíz cultivada con la solución La Molina, se obtuvo el menor consumo de N (g N/día) y a su vez fueron los que menos N eliminaron en las heces y orina, al final del día se mantuvo una tasa de retención similar ($P > 0,05$) a las otras soluciones.

La biomasa hidropónica de maíz cultivada con la solución FAO presentó tendencias iguales a la cultivada con la solución Hoagland. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Chandramoni. *et al.* (2000), quienes alimentaron ovinos con dietas compuestas por pajas y concentrados en diferentes dosis; es así que el consumo de N (g N/día) fue de 17,5; 22,2 y 21,9 (92:8; 50:50 y 70:30 relación paja:concentrado) g N/día, respectivamente; obteniendo retenciones de N de 8,3; 12,3 y 13,9 g N/día, manteniendo estándares superiores a los encontrados en esta investigación.

Por otro lado Chay *et al.* (2009) en su estudio efecto del tamaño de partícula sobre el consumo, digestibilidad y balance del nitrógeno en ovinos pelibuey alimentados con dietas basadas en frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y grano de maíz, suministraron N (g N/día) a razón de 24,9 (pequeña); 23,3 (mediana) y 24 (grande), logrando retenciones de 18,7; 17,0 y 17,9 g N/día. A su vez Chikagwa *et al.* (2009), en su investigación caracterización nutricional de la *Mucuna pruriens* y su efecto en el reemplazo de la harina de soya sobre el consumo, digestibilidad, balance de nitrógeno y síntesis de proteína microbiana en ovinos alimentados además del testigo, con niveles crecientes (bajo, mediano y alto) de *Mucuna pruriens*, publicaron consumos de N (g/día) de 42,0 (Testigo); 36,0 (bajo); 36,7 (mediano) y 41,2 (alto), logrando niveles de retención de 28,0 (Testigo); 16,8 (bajo); 22,7 (mediano) y 21,8 (alto) g N/día.

Para el presente estudio se utilizaron animales adultos (3 años de edad) donde sus condiciones fisiológicas no le permiten elaborar músculos y la mayor parte del N que se absorbe a nivel intestinal lo eliminan por la orina (NRC, 1985; Tamminga *et al.*, 1994), mientras que en animales jóvenes como son los ejemplos anteriores las retenciones de N (g N/día) son altas, ya que utilizan los nutrientes nitrogenados para incrementar peso vivo y otros procesos metabólicos de los ovinos estudiados. No obstante los resultados del presente trabajo (Tabla 7.4) muestra que estas BHM poseen un potencial productivo cuando sean empleadas en animales en etapa de crecimiento o en lactación, pues parte del N urinario pudiera ser retenido bajo otras condiciones fisiológicas (Fievez *et al.*, 2001).

Al realizar un análisis de la eficiencia en la utilización de la proteína (Tabla 8.4) en caprinos criollos adultos de las biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas se encontró que la biomasa hidropónica de maíz producida con las

soluciones nutritivas FAO y La Molina mostraron las mayores eficiencias de asimilación de proteína microbiana.

Por otro lado, es conocido que el objetivo de la nutrición proteica es proveer cantidades adecuadas de proteína degradable en el rumen para garantizar la eficiencia ruminal óptima y obtener la productividad animal deseada con el suministro mínimo de proteína evitando la oferta excesiva (Elizondo, 2002). En tal sentido, se destaca que la proteína microbiana es de excelente calidad porque tiene un equilibrio de aminoácidos esenciales y aporta gran parte de la proteína verdadera que llega al intestino de los rumiantes (Carvalho *et al.*, 2012). Sin embargo, no todas las necesidades de aminoácidos esenciales pueden cubrirse a partir de la proteína microbiana pues algunos aminoácidos esenciales deben proveerse en la ración y una proporción suficiente de esta fuente proteica debe escapar a la degradación ruminal (Chay *et al.*, 2009; Galina *et al.*, 2009).

Tabla 8.4. Eficiencia en la asimilación de proteína metabolizable en caprinos criollos adultos alimentados con biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas

Indicadores/kg MS consumida	Biomásas hidropónicas de maíz cultivadas con diferentes soluciones nutritivas		
	Hoagland	FAO	La Molina
Consumo PB, g	198,0	139,0	161,0
DER de la PB, %	76,5	74,7	67,0
PDR, g	151,5	103,8	107,9
PNDR (bypass), g	46,5	35,2	53,1
PDID, g	37,3	28,2	41,2
Proteína microbiana, g	42,1	45,9	39,1
Proteína metabolizable, g	79,4	71,4	80,3
EAPM, %	40,0	53,3	49,9
EM:PM, MJ/g	0,143	0,161	0,139

PB: proteína bruta; **DER:** degradabilidad efectiva en el rumen; **PDR:** proteína degradable en el rumen; **PNDR:** proteína no degradable en el rumen; **PDID:** proteína digestible en intestino delgado; **EAPM:** eficiencia en la asimilación de proteína metabolizable; **EM:PM:** relación energía y proteína metabolizable

4.4. Conclusiones parciales

- La biomasa hidropónica de maíz producida con tres soluciones nutritivas mostró niveles adecuados de energía metabolizable, degradabilidad ruminal y digestibilidad fecal de los nutrientes en caprinos criollos que sugieren que pueda ser empleado en la alimentación de estos animales. No obstante, los resultados mostraron a la solución FAO como la más promisoría para producir biomasa hidropónica de maíz.
- La producción de metano y N microbiano por caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz como dieta única son apropiados para la especie animal.

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE
CAPRINOS CRIOLLOS EN CRECIMIENTO-CEBA
ALIMENTADOS CON BIOMASA HIDROPÓNICA
DE MAÍZ**

CAPÍTULO 5. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CAPRINOS CRIOLLOS EN CRECIMIENTO-CEBA ALIMENTADOS CON BIOMASA HIDROPÓNICA DE MAÍZ

5.1. Introducción

Es conocido que durante épocas de poca lluvia y etapas fisiológicas críticas en diferentes zonas agroecológicas, especialmente las tropicales, los caprinos presentan algunas deficiencias en la etapa de crecimiento, lo que trae como consecuencia pérdidas económicas para los productores (Herrera Angulo *et al.*, 2007). Esta situación se agrava en zonas agroecológicas como la de Santa Elena, Ecuador, donde las precipitaciones son inferiores a los 300 mm anuales con humedad relativa inferior al 70 % (Cruz-Domínguez, 2015; INAMHI, 2015).

Para mitigar la situación anterior, una de las alternativas aplicadas es el uso de alimentos balanceados (concentrados comerciales), sin embargo, esto implica un aumento en los costos de producción (Ramos-Tocto, 2010).

Basado en estos hechos, la BHM puede ser una alternativa para mejorar la calidad de la dieta base a ser utilizada en caprinos y podría sustituir parcialmente al concentrado o totalmente a la panca de maíz (planta de maíz sin la mazorca), otro alimento empleado con frecuencia en estas regiones (Poli *et al.*, 2005). Además, el empleo de BHM como dieta única o complementaria puede mejorar el beneficio costo de los sistemas productivos de caprinos (Gómez, 2007).

5.1.1. *Objetivos*

- Evaluar el comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con biomasa hidropónica de maíz en la etapa de crecimiento-ceba.
- Definir el beneficio/costo de la biomasa hidropónica de maíz en la alimentación de caprinos criollos en crecimiento-ceba.

5.2. Manejo del experimento

5.2.1. *Manejo de los animales y producción de biomasa hidropónica de maíz*

Durante un período de 154 días, se utilizaron 54 caprinos criollos (machos enteros) de 80 ± 5 días de edad y pesos promedio al inicio del estudio de $8,8 \pm 0,3$ kg; clínicamente sanos según el método clínico propuesto por Cuesta *et al.* (2007), fueron desparasitados, vitaminados (complejo B y AD₃E) y adaptados por 14 días al consumo de las dietas experimentales y a las condiciones de estabulación. Paralelamente se produjo biomasa hidropónica de maíz utilizando la solución nutritiva estandarizada de la FAO (ver capítulo II) que resultó tener los mejores resultados integrales (producción agrícola y valor nutritivo) acorde a las investigaciones mostradas en los capítulos III y IV de la presente tesis.

Los animales fueron alojados en nueve cubículos (8 m^2 c/u), a razón de seis caprinos por cubículo ($1,33 \text{ m}^2/\text{animal}$) con sus respectivos comederos y bebederos. El alimento fue suministrado considerando un consumo del 5 % del peso vivo en MS más un 10 % de esa cantidad de MS calculada, en tres raciones diarias (08:00; 14:00 y 20:00 horas), al siguiente día se pesó el sobrante y por diferencia se determinó el consumo diario (g). El agua y las sales minerales se suministraron *ad libitum*. El cambio de peso vivo se midió cada semana (dos días seguidos para disminuir errores). Con estos valores se calculó el incremento de peso vivo diario (g/día) y la conversión alimenticia.

5.2.2. Dietas experimentales

Para la elaboración de las dietas experimentales (isoenergéticas) se tuvo en cuenta la bromatología de los ingredientes (Tabla 1.5) y los requerimientos nutricionales de los caprinos para una ganancia media diaria de 100 g según la NRC (1985) y Elizondo (2002) para la etapa de crecimiento-ceba.

Tabla 1.5. Bromatología de ingredientes para dietas experimentales

Ingredientes	Composición química (%)					
	MS	PB	FB	MO	EE	EM (MJ/kg MS)
Biomasa hidropónica de maíz	15,7	13,9	18,9	97,2	4,0	10,96
Concentrado para cabras	88,0	14,0	16,0	88,0	3,0	11,30
Panca de maíz	91,8	4,3	39,5	92,9	1,62	6,60

MS: materia seca; PB: proteína bruta; FB: fibra bruta; MO: materia orgánica; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

En la Tabla 2.5 se presentan las dietas experimentales (D1: Biomasa hidropónica de maíz; D2: Biomasa hidropónica de maíz + Concentrado comercial para caprinos + Panca de maíz y D3: Concentrado comercial para caprinos + Panca de maíz) y sus nutrientes calculados para caprinos criollos en crecimiento-ceba de 20 kg de peso vivo y con 100 g de ganancia media diaria.

Tabla 2.5. Dietas experimentales y sus nutrientes calculados para caprinos criollos en crecimiento-ceba de 20 kg PV y con 100 g de ganancia media diaria

Ingredientes	Dietas experimentales (g/día)		
	D1	D2	D3
Biomasa hidropónica de maíz	4 000	2 090	-
Concentrado para cabras	-	196	490
Panca de maíz	-	1 040	1 605
Nutrientes calculados			
Materia seca	620,00	720,00	770,00
Materia orgánica	608,95	672,89	692,67
Proteína bruta	123,54	98,09	74,87
Fibra bruta	130,40	182,01	202,17
Extracto etéreo	24,96	21,75	18,40
Energía metabolizable (MJ/día)	7,10	7,10	7,10

D1: biomasa hidropónica de maíz; **D2:** concentrado + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz; **D3:** concentrado + panca de maíz.

5.3. Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos (dietas) y 18 repeticiones, cada unidad experimental la conformó un caprino. Para evaluar el efecto de las dietas elaboradas, en el desempeño productivo de los animales (incremento de peso vivo, ganancia media diaria y conversión alimenticia) fue empleado un modelo general lineal contenido en el paquete estadístico SPSS versión 21 (SPSS, 2012) como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + D_{i=1,2,3} + bx_i + \varepsilon_{ij},$$

donde, μ = media o intercepto; D_i = efecto fijo de la i -ésima dieta (concentrado + panca de maíz vs. concentrado + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz vs. biomasa hidropónica de maíz) ($i=1, 2, 3$); bx_j = coeficiente de regreso y variable concomitante al peso inicial para la i -ésima dieta y ε_{ijk} = error aleatorio asociado a las observaciones normalmente distribuidas. En los casos en que la variable concomitante fue significativa

se ajustaron las medias de los tratamientos por este efecto, adicionalmente, se empleó la prueba de Tukey (1949) cuando el valor de P del modelo para la dieta fue menor que 0,05 para detectar la significancia entre las dietas.

5.4. Resultados y discusión

En la Tabla 3.5, se presenta el comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz. Al analizar el peso vivo inicial, los tratamientos fueron diferentes ($P < 0,001$) donde el grupo que recibió concentrado comercial para caprinos + panca de maíz (D3) pesó 0.4 kg más que los otros dos grupos. Se puede apreciar que los tres grupos comenzaron con un peso entre 8,50 y 8,90 kg, diferencia de peso que pudo haber sido afectada en el período de adaptación (14 días), relacionado con la interacción de diversos factores, entre los que se destacan el estrés provocado por el cambio de manejo (extensivo a estabulado), el reagrupe y la adaptación a las dietas experimentales (Alpízar-Naranjo, 2014).

Tabla. 3.5. Comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz

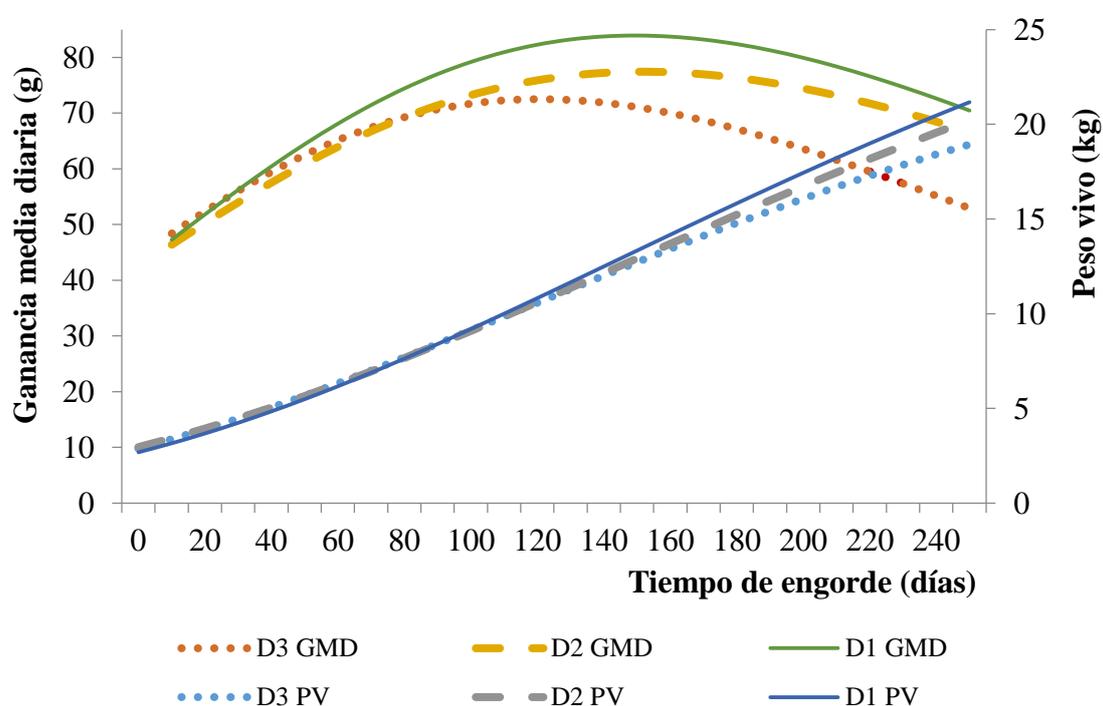
Parámetros	Dietas			EE± ^φ	P [†]	bx [§]
	D1	D2	D3			
Peso vivo inicial, kg	8,50 ^b	8,59 ^b	8,90 ^a	0,058	<0,001	-
Peso vivo final, kg	21,38 ^a	20,43 ^b	19,09 ^c	0,055	<0,001	<0,001
GMD, g/día	84,54 ^a	81,71 ^b	75,79 ^c	0,244	<0,001	<0,001
Conversión, kg MS/kg de PV	6,98 ^a	7,02 ^b	7,12 ^c	0,019	<0,001	0,014

Letras diferentes en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949); ^φEE±: Error estándar de la media; [†]P: significación estadística según el modelo general lineal para dietas (D1: biomasa hidropónica de maíz vs. D2: concentrado + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz vs. D3: concentrado + panca de maíz); [§]bx: coeficiente de regreso y variable concomitante peso inicial. Cuando bx fue significativa las medias de las variables fueron ajustadas; GMD: ganancia media diaria; MS: materia seca; PV: peso vivo.

El peso vivo (Figura 1.5), la ganancia media diaria (GMD); y la conversión alimenticia, mantuvieron la misma tendencia durante todo el experimento, donde la dieta compuesta

por biomasa hidropónica de maíz (D1), mantuvo promedios superiores ($P<0,001$) en comparación con las dietas D2 y D3. Esta última presentó la GMD y la conversión alimenticia más discreta del estudio.

Las curvas de crecimiento fueron diferentes entre los tratamientos ($P<0,001$), se apreció un menor desempeño en el grupo de caprinos alimentados con panca de maíz + concentrado comercial para caprinos (D3), seguido del grupo que consumió BHM + panca de maíz + concentrado comercial (D2) y finalmente de los que consumieron BHM (D1) como único ingrediente en la dieta. A pesar de que los requerimientos nutricionales de energía y proteína fueron cubiertos por las dietas, los animales obtuvieron GMD por debajo de lo esperado, esto pudo deberse a las características fisiológicas y al potencial genético de los animales (Fiems *et al.*, 2013; Fiems *et al.*, 2015).



D1: biomasa hidropónica de maíz; **D2:** concentrado + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz; **D3:** concentrado + panca de maíz

Figura 1.5. Incremento de peso vivo en caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz

La respuesta obtenida en estos grupos experimentales pudieran ser el resultado del conjunto de reacciones bioquímicas ruminales, que se maximizan con el suministro sincronizado de proteína y energía fermentable en el rumen, permitiendo una mejor utilización de los nutrientes (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2013; Alpízar-Naranjo, 2014). La biomasa hidropónica de maíz, como alimento de alta degradabilidad pudo contribuir con la actividad de las bacterias celulolíticas, de ese modo se pudo mejorar la sincronización entre energía-proteína, el crecimiento microbiano, el tiempo de permanencia del alimento en el rumen para su degradación y la celulolisis ruminal (Rodríguez-Cavalcante *et al.*, 2010; Naik *et al.*, 2014).

Estos resultados son diferentes a los obtenidos por López *et al.* (2009) en su estudio “biomasa hidropónica de maíz: Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas”, estos investigadores probaron tres dietas compuestas por heno de alfalfa + maíz blanco + ensilaje de maíz (D1); biomasa hidropónica de maíz + heno de coquia (*Kochia scoparia* L.) (D2) y biomasa hidropónica de maíz + heno de coquia + ensilaje de maíz (D3) en la alimentación de caprinos criollos (alcanzaron GMD de 134,7 y 144,3 g con D2 y D3, respectivamente).

Por otro lado, Páez (2013) reportó GMD de 83,4 g y conversiones alimenticias de 10,7 kg de MS consumida por kg de incremento de peso vivo, en caprinos criollos estabulados que consumieron 0,895 kg MS/día y con una concentración energética de 7,53 MJ/kg MS; y en animales manejados en sistemas extensivos la GMD fue de 59,4 g y la conversión alimenticia de 15,5 kg de MS por kg de incremento de peso vivo. La GMD de los caprinos estabulados obtenida por este autor son comparables con los de la presente investigación. Sin embargo, Galina *et al.* (2009) lograron GMD mayores, cuando emplearon dos dietas: una con 50 % heno de alfalfa + 40 % concentrado + 10 % de un suplemento nitrogenado de lento consumo y otra dieta integral rociada

diariamente con 50 mL/kg MS de probiótico en la alimentación de caprinos con promedios de 129 y 169 g/día, respectivamente.

En la Figura 2.5 se presentan los requerimientos nutricionales y respuesta animal en el periodo de 154 días de crianza de caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz.

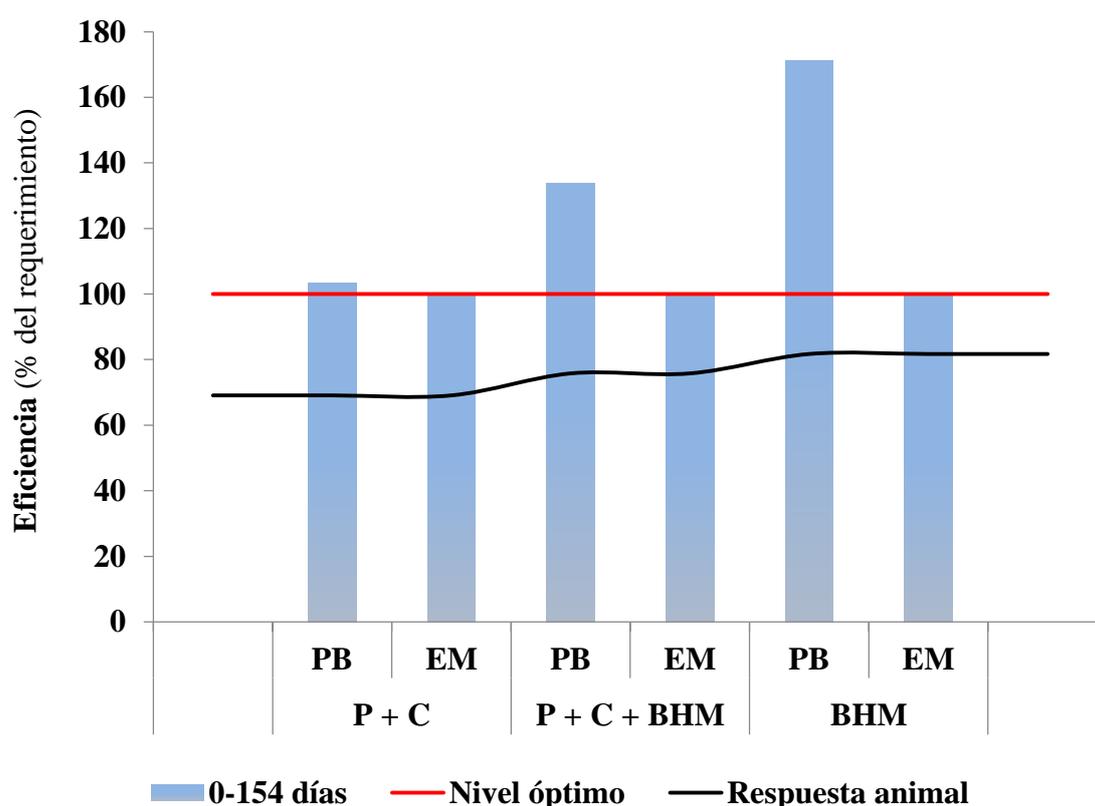


Figura 2.5. Requerimientos nutricionales y respuesta animal expresados como porcentaje del requerimiento nutritivo en caprinos criollos alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz.

La línea roja representa los requerimientos nutricionales de los caprinos en crecimiento-ceba, las barras azules representan los niveles de cubrición de dichos requerimientos (PB y EM) y la línea negra, representa la respuesta animal (GMD) expresada como porcentaje del óptimo (100 g/d). Además, en esta figura se evidencia que las dietas experimentales fueron isoenergéticas y que los niveles de proteína superaron los

requerimientos diarios de los animales; así mismo muestra que la mejor respuesta animal se logró cuando los caprinos consumieron biomasa hidropónica de maíz.

Al respecto, Sánchez-Del Castillo *et al.* (2013) alcanzaron promedios de GMD de 159 g alimentando borregos con dietas basadas únicamente en biomasa hidropónica de cebada en comparación con dietas a base de concentrados (sorgo – soya: relación 4:1) con 116 g de GMD; estos autores concluyeron que la diferencia en la ganancia de peso entre estas dietas se debió a que en las biomásas hidropónicas por cada kilogramo de materia seca existe una mayor cantidad de proteínas y aminoácidos libres, los cuales debieron ser asimilados inmediatamente al ser ingeridos (Sepúlveda-Palacios, 2013).

Asimismo, Carrasco *et al.* (2011) indicaron que el contenido de fibra cruda en el alimento concentrado es menor al de las biomásas hidropónicas y que esto fue importante ya que en los rumiantes el contenido de fibra tiene un efecto sinérgico en la asimilación de otros componentes como las proteínas y minerales. De la misma manera, Fazaeli *et al.* (2012) y Candia (2014) coincidieron en que las biomásas hidropónicas tienen un valor nutritivo mayor que otros alimentos empleados comúnmente en la alimentación de rumiantes en el trópico y en ambientes desérticos y que al ser empleadas en los sistemas de alimentación mejoran el comportamiento animal.

5.5. Análisis económico

Como se observa en la Tabla 4.5, el costo de un kg de biomasa hidropónica de maíz es muy económico, ya que se obtienen producciones promedios de 8 a 10 kg/m², creando condiciones esperanzadoras para que los pequeños productores de caprinos cambien las estrategias de manejo y alimenten a sus animales con una fuente barata y nutritiva, mejorando la calidad de vida de sus familias.

Así mismo se observa, el costo de un kg de concentrado comercial, que con las economías del sector rural (campesino productor de caprinos criollos) es muy difícil que se logre alimentar a un ható con este tipo de alimentación.

Los costos de la panca de maíz son muy económicos pero este alimento no cubre los requerimientos nutricionales de los animales, sin embargo es el principal alimento que consumen los caprinos en esa zona geográfica del Ecuador, tanto en los sistemas de alimentación en estabulado como en pastoreo.

Tabla 4.5. Costo por kg de biomasa hidropónica de maíz, panca de maíz y concentrado comercial para caprinos

Costo/kg biomasa hidropónica de maíz (USD)			
Insumos	Costo (USD)	Costo unitario (USD)	Costo producción (USD/m²)
Semillas de maíz (46 kg)	16,00	0,35	0,0420
Agua para riego (1 000 L)	0,10	0,007	0,0009
Cloro (1 L)	0,25	0,25	0,0003
Bandejas de germinación, u	1,50	0,002	0,0002
Solución nutritiva (1 L)	1,10	1,10	0,0013
Mano de obra (240 h)	354	1,48	0,0590
Costo/kg BHM			0,10
Costo/kg Concentrado para caprinos (USD)			
	Costo (USD/40 kg)	Costo (USD/kg)	
Concentrado para caprinos	26,00	0,65	
Costo de la Panca de maíz			
	Costo (USD)	Costo (USD/kg)	
Panca de maíz (1 500 kg)			
Transporte (Flete)	20,00	0,013	
Combustible motor	1,00	0,001	
Troceadora de forraje	3 000,00	0,005	
Mano de obra (2 jornales)	15,00	0,020	
Mano de obra (troceado panca)	15,00	0,010	
Costo/kg Panca de maíz			0,05

En la Tabla 5.5, se presentan los egresos totales, ingresos totales y la relación beneficio/costo (B/C) de las dietas experimentales suministradas para evaluar el comportamiento productivo de caprinos criollos alimentados con dietas que contenían o no biomasa hidropónica de maíz.

Se puede apreciar que los caprinos que consumieron biomasa hidropónica de maíz como único ingrediente de la dieta superaron en rendimientos productivos y económicos a los caprinos que consumieron concentrados comerciales para caprinos + panca de maíz y a los que consumieron concentrados comerciales para caprinos + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz, obteniendo estándares de rentabilidad que superaron las expectativas.

Es así, que al analizar la relación beneficio/costo de los tratamientos, se observó que por cada dólar invertido en la etapa de crecimiento-ceba existió un retorno monetario de 1,83 dólares (83 % de rentabilidad) en los animales que consumieron biomasa hidropónica de maíz; sin embargo los animales alimentados con la D2, se obtuvieron rentabilidades del 68 %, y con la D3 se obtuvieron rentabilidades del 56 %, esto significa que las tres dietas empleadas no ocasionaron pérdidas económicas, pero la D1 superó a las otras dietas estudiadas. Esto pudo obedecer, fundamentalmente, al costo de las dietas y a las diferencias ($P < 0,001$) existentes en la respuesta animal.

Tabla 5.5. Relación beneficio costo del comportamiento productivo de caprinos criollos en crecimiento-ceba alimentados con o sin biomasa hidropónica de maíz durante un ciclo productivo

Indicadores	Dietas								
	D1			D2			D3		
	Valor USD	Cantidad	Total USD	Valor USD	Cantidad	Total USD	Valor USD	Cantidad	Total USD
Egresos									
Animales, u	10,0	18,0	180,00	10,00	18,0	180,00	10,0	18,0	180,00
Alimento, kg	0,1	9 979,2	997,90	0,39	2 732,1	1 065,50	0,4	2684,9	1 074,00
Insumos ^φ	5,0	1,0	5,00	5,00	1,0	5,00	5,0	1,0	5,00
Servicios básicos [†]	1,5	6,0	9,00	1,50	6,0	9,00	1,5	6,0	9,00
Mano de obra, u	385	1,0	385,00	385,00	1,0	385,00	385,0	1,0	385,00
Depreciación:									
Nave germinación	2 000,0		0,55			0,55			
Corrales de crianza	4 000,0		0,52			0,52			0,52
Equipo de riego	1 200,0		0,55			0,55			
Egresos totales			1 578,50			1 646,10			1653,50
Ingresos									
Venta caprinos PV, kg	7,5	384,8	2 886,30	7,50	367,7	2 758,05	7,5	343,6	2 577,15
Ingresos totales			2 886,30			2 758,05			2 577,15
Ganancia neta			1 307,80			1 111,90			923,70
B/C			1,83			1,68			1,56

^φInsumos: Vacunas, antiparasitarios, vitaminas y medicamentos; [†]Servicios de electricidad; **D1**: Biomasa hidropónica de maíz; **D2**: concentrado comercial para caprinos + Panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz; **D3**: concentrado comercial para caprinos + Panca de maíz; **USD**: dólares de EEUU de América; **PV**: Peso vivo del animal; **B/C**: Relación beneficio costo; u= Unidad.

5.6. Conclusiones parciales

- Caprinos alimentados con biomasa hidropónica de maíz como dieta única durante 154 días alcanzaron incrementos de peso vivo (84,5 g/día) muy buenos para el genotipo criollo y para las condiciones ambientales de Santa Elena, Ecuador, lo que evidenció un comportamiento productivo superior que el resto de los grupos.
- Los tres sistemas de alimentación empleados en caprinos criollos fueron rentables, alcanzando un beneficio/costo de 83 % en el grupo de animales que consumieron como dieta única biomasa hidropónica de maíz; 68 % en el grupo de animales que consumieron concentrado para caprinos + panca de maíz + biomasa hidropónica de maíz y 56 % en el grupo de animales que se alimentaron con panca de maíz + concentrado para caprinos.

DISCUSIÓN GENERAL

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN GENERAL

Se evidenció que las soluciones nutritivas Hoagland, La Molina y FAO influenciaron positivamente el desarrollo de la biomasa hidropónica de maíz *Agri 104* producida, mostrando mayor eficiencia productiva y calidad nutricional que la BHM producida con la solución Testigo, estos resultados son similares a los reportados por Alvarez-Toral (2006), quien obtuvo rendimientos satisfactorios al utilizar BIOL como solución nutritiva.

Al respecto Campo Rodríguez y Villar Delgado (2012) indicaron que por cada kilogramo de semilla de maíz utilizado en hidroponía se obtienen de 5-9 kilos de biomasa hidropónica de maíz con aproximadamente dos litros de agua y utilizando soluciones nutritivas a bajo costo. Además estos autores indicaron que al alimentar animales con biomasa hidropónica de maíz estos no sufrieron trastornos digestivos y que sus producciones y fertilidad aumentaron significativamente.

Así mismo, Romero *et al.* (2009) sostuvieron que al producir biomasa hidropónica de maíz se obtienen grandes rendimientos de forraje, producidos en pequeñas áreas sin requerir gran cantidad de maquinaria y haciendo un uso más eficiente del agua. Además, el producto obtenido es de alto valor nutritivo para los animales.

Por otra parte, Herrera Ramírez y Echavarría Vega (2008) consideraron que la solución nutritiva es aquella que posee todos los nutrientes que cada especie vegetal cultivada normalmente extrae del suelo para su crecimiento y desarrollo productivo. En tal sentido, la solución nutritiva FAO reveló mejores resultados integrales (agronómicos y valor nutritivo). Al respecto, Cerrillo-Soto *et al.* (2012) estimaron la producción y el valor nutricional de las biomásas hidropónicas de trigo y avena en las que obtuvieron

resultados halagadores acerca del valor nutritivo de esas biomásas estudiadas tanto en materia seca, proteína bruta, materia orgánica como parámetros de la fermentación ruminal, concluyendo que las biomásas hidropónicas de ambas especies pueden ser utilizadas eficientemente en la alimentación animal. Las variables nutricionales evaluadas indicaron que las biomásas hidropónicas de trigo y avena ofrecen buena calidad nutritiva para rumiantes.

Así mismo, Salas-Pérez *et al.* (2010) lograron similares rendimientos y calidad nutricional cuando produjeron biomásas hidropónicas de maíz con fertilización inorgánica, excepto el contenido de fibra detergente ácido que fueron superiores a los mostrados en la presente investigación. Además, estos autores concluyeron que era factible la utilización del té de compost como sustituto de la fertilización química en la producción de forraje hidropónico.

Mediante el uso de estas técnicas de producción de alimentos para animales de granja, se estaría en capacidad de formular dietas más eficientes, que reduzcan el costo de alimentación, sin mermar los resultados productivos. Además, se sugiere por algunos autores que al mejorar la eficiencia en la alimentación también se reduce la excreción de metano y nitrógeno al medio ambiente (Salas-Pérez *et al.*, 2010).

El tiempo óptimo para la cosecha de la biomasa hidropónica de maíz producida en esta tesis independientemente de la solución nutritiva que se emplee fue a los 12 días después de la siembra debido a su alta productividad sin afectar la calidad nutritiva. Al respecto, investigaciones recientes sostienen que la rentabilidad de la producción de la biomasa hidropónica de maíz es lo suficientemente aceptable como para mejorar las condiciones de calidad de vida del productor con su familia, favoreciendo de este modo su desarrollo e inserción social, a la vez de ir logrando una paulatina reconversión económica-productiva del sistema (Herrera Angulo *et al.*, 2007; López *et al.*, 2009).

La biomasa hidropónica de maíz cultivada con tres soluciones nutritivas mostró niveles adecuados de energía metabolizable, degradabilidad ruminal y digestibilidad fecal de los nutrientes en caprinos lo que sugiere que pueda ser empleada en la alimentación de estos animales. No obstante, los resultados mostraron a la solución FAO como la más promisoría para producir biomasa hidropónica de maíz. Así mismo, Pérez-Robledo (2013) en su estudio “digestibilidad *in vitro* del maíz cultivado en condiciones de hidroponía” utilizó ácidos húmicos como solución nutritiva logrando resultados de 67,75 % de digestibilidad, concluyendo en su trabajo que la utilización de biomasa hidropónica de maíz es una buena alternativa para la alimentación de animales en zonas áridas.

Por otro lado, García-Carrillo *et al.* (2013) informaron que la producción y calidad fisicoquímica de la leche de cabras suplementadas con biomasa hidropónica de maíz aumentaron debido al incremento del nivel proteico y concentración energética de la dieta que recibían los animales. Estos autores con dietas que contenían un 30 % de biomasa hidropónica de maíz alcanzaron mayores producciones de leche con mayores porcentajes de grasa que en el grupo que no recibía la suplementación de biomasa hidropónica de maíz.

Al emplear biomasa hidropónica de maíz en la alimentación de cabras independientemente de la solución nutritiva empleada se observó que la producción de metano y N microbiano son adecuados para la especie animal, aunque hay que trabajar en los sistemas de alimentación para mejorar ambos parámetros. Además, caprinos alimentados con biomasa hidropónica de maíz durante 154 días alcanzaron ritmos de incremento de peso vivo aceptables para el genotipo criollo bajo las condiciones de San Marcos, Santa Elena, Ecuador. Al respecto, Páez (2013) al estudiar dos sistemas de crianza de caprinos: estabulados y libre pastoreo; encontró que los primeros,

consumieron 895 g MS/día con una concentración energética de 1,8 Mcal/kg MS con una ganancia media diaria de 83,4 g y conversión alimenticia de 10,7 kg MS/kg de incremento de peso vivo; mientras que los animales que pastoreaban obtuvieron 59,4 g/día de incremento de peso vivo con conversión alimenticia de 15,5 kg MS/kg de incremento de peso vivo.

En la presente investigación, el grupo de caprinos que consumió biomasa hidropónica de maíz como dieta única mostró un comportamiento productivo más eficiente que el resto de los grupos alcanzando más del 80 % de su potencial de crecimiento a menor costo. Estos resultados pudieran estar relacionados con el valor nutritivo de la biomasa hidropónica de maíz producida con la solución nutritiva FAO (la de mayor potencialidad como alimento para caprinos).

Sin embargo, López *et al.* (2009) alimentando caprinos con dietas que contenían biomasa hidropónica de maíz en diferentes proporciones alcanzaron incrementos de peso vivo entre 134 y 144 g/día; mientras que las cabras alimentadas sin biomasa hidropónica de maíz mostraron un incremento de peso vivo de 95,5 g/día. Estos promedios fueron superiores a los logrados en la presente investigación al parecer debido al genotipo caprino (cruzadas de raza Nubia) empleado por López *et al.* (2009). No obstante, en la presente tesis, el incremento de peso vivo y el desempeño económico de caprinos alimentados con biomasa hidropónica de maíz como dieta única permitieron concluir que esta puede ser empleada en sistemas de alimentación para caprinos. Así mismo, el beneficio/costo mostrado por los tres sistemas de alimentación empleados en el presente trabajo evidencian que estos pueden ser empleados en hatos caprinos, aunque la biomasa hidropónica de maíz como dieta única mostró los mejores resultados.

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

- El momento óptimo para la cosecha de esta biomasa hidropónica de maíz fue a los 12 días después de la siembra dada por su alta productividad de materia seca y proteína bruta sin afectar los demás indicadores del valor nutritivo.
- Las soluciones nutritivas FAO, Hoagland y La Molina influenciaron en el desarrollo de la biomasa hidropónica de maíz y su valor nutricional, donde la biomasa producida con la solución nutritiva FAO mejoró la calidad nutritiva, producción de biomasa, proteína anual, concentración energética, degradabilidad ruminal y digestibilidad fecal, aporte de nitrógeno microbiano, proteína metabolizable para el animal y menor producción de metano.
- El grupo de caprinos que consumió biomasa hidropónica de maíz como dieta única producida con la solución FAO mostró un comportamiento productivo más eficiente que el resto de los grupos de caprinos alcanzando el 83 % de su potencial de crecimiento y beneficios/costos que superan en un 15 o un 27 % el beneficio costo de la dieta con concentrado + panca + biomasa hidropónica de maíz o con panca + concentrado, respectivamente.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Emplear la biomasa hidropónica de maíz como alternativa alimenticia en los sistemas de alimentación de caprinos en la zona árida y semiárida de Santa Elena, Ecuador.
- Divulgar los resultados obtenidos en la presente investigación a través de la docencia de pre y postgrado, la vinculación con la comunidad y actividades profesionales relacionadas con esta área.
- Incluir en las Tablas de valor nutritivo los valores bromatológicos y de degradabilidad y digestibilidad en caprinos de las biomásas hidropónicas de maíz cosechada en diferentes edades y producidas con diferentes soluciones nutritivas.
- Determinar el efecto de la utilización de la biomasa hidroponía de maíz en otras categorías caprinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUM M. (2013) Estabulación de cabras. In: MAGAP (ed.) *Hidroponía para estabulación de cabras*, Primera edn, pp. 1-30. Guayaquil, Ecuador: Cámara de agricultura de II zona, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- AGUIAR-ZALZANO E. y ROJAS-BOURRILLON A. (2014) *Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes. Nutrición Animal Tropical*, **8 (2)**, 72-90.
- AGUIAR A. D., TEDESCHI L. O., ROUQUETTE F. M., MCCUISTION K., ORTEGA-SANTOS J. A., ANDERSON R., DELANEY D. y MOORE S. (2011) *Determination of nutritive value of forages in south Texas using an in vitro gas production technique. Grass and Forage Science*, **66**, 526-540.
- AGUILERA J. F. (2001) *Aportaciones al conocimiento de la nutrición energética de pequeños rumiantes, con particular referencia al ganado caprino. Archivos de Zootecnia*, **50 (192)**, 565-596.
- ALAYON J., RAMIREZ-AVILES L. y KU-VERA J. (1998) *Intake, rumen digestion, digestibility and microbial nitrogen supply in sheep fed Cynodon nlemfuensis supplemented with Gliricidia sepium. Springer Netherlands. Agroforestry Systems*, **41 (2)**, 115-126.
- ALPÍZAR-NARANJO A. (2014) *Efecto de la suplementación con Morus alba Linn en la ceba de ovinos Pelibuey en estabulación*. Tesis en opción al grado académico de Máster en Pastos y Forrajes, Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. p 78.

- ÁLVAREZ-NIVIA D. M. (2009) *Eficiencia de la fermentación in vitro de los tractos gastrointestinales del monogástrico y del rumiante*. Tesis en opción al Grado Académico de Máster en Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Coordinación General de Postgrados Sede Palmira. Colombia. p 140.
- ALVAREZ-TORAL L. (2006) *Eficacia de tres medios hidropónicos en la producción de forraje verde, en avena forrajera (Avena sativa, L.)*. Trabajo de graduación previo al título de Ingeniero Agropecuario, Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. p 70.
- ALLISON C. D. (1985) *Factors affecting forage intake by range ruminants*. *Journal range manage*, **38**, 305-311.
- ANDRADE-MOREIRA J. C. (2010) *Utilización del maíz hidropónico (Zea mays L.), para mejorar el levante de terneras realizando cuatro períodos de cosecha*. Tesis previa la obtención del título de Médico Veterinario, Carrera de Medicina Veterinaria. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM). Calceta, Ecuador. p 74.
- AOAC (2005) *Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed*, AOAC International. Gaithersburg, Maryland 20877-2417, USA.
- ARANO S. (2006) *Forraje hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra*. Asociación Nacional de Productores de Leche (ANALAC), Buenos Aires, Argentina., 21-28.
- ARCHIMÈDE H., SAUVANT D., J. H., TERNOIS F. y PONCET C. (1997) *Quantitative review of ruminal and total tract digestion of mixed diet organic matter and carbohydrates*. *Reproduction Nutritive Development*, **37**, 173-189.
- ARNAU J. y VIADER M. (1991) Diseños cross-over (alternativos): Aspectos metodológicos y analíticos. Disponible en:

http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/articles/curriculum/curriculum1/qr1disenyoscrossover.pdf (accedido el 18 diciembre de 2015).

- BACH A., CALSAMIGLIA S. y STERN M. D. (2005) *Nitrogen Metabolism in the Rumen*. *Journal Dairy Science*, **88**, E9-21.
- BAIXAULI C. y AGUILAR J. (2002) Cultivo sin suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y experiencias. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, p. 107. Valencia, España.
- BALL D., COLLINS M., LACEFIELD G., MARTIN N., MERTENS D., OLSON K., PUTNAM D. H., UNDERSANDER D. y WOLF M. (2001) Understanding Forage Quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01, p. 20. Park Ridge, IL, EEUU.
- BARRY C. (2000) Hidroponía: Soluciones nutritivas. Boletín informativo No. 7. Red hidroponia, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Departamento de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, pp. 1-21. Lima, Perú.
- BASURTO R. y TEJADA DE HERNÁNDEZ I. (1992) *Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. Comparación de métodos para estimarla. Técnicas Pecuarias de México*, **30 (1)**, 13-22.
- BEDOLLA-TORRES M. H., PALACIOS ESPINOSA A., PALACIOS O. A., CHOIX F. J., ASCENCIO VALLE F. D. J., LÓPEZ AGUILAR D. R., ESPINOZA VILLAVICENCIO J. L., DE LUNA DE LA PEÑA R., GUILLEN TRUJILLO A., AVILA SERRANO N. Y. y ORTEGA PÉREZ R. (2015) *La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz*. *Revista Argentina de Microbiología*, **47**, 236-244.
- BLAXTER K. L. (1962) *The fasting metabolism of adult wether sheep*. *British Journal of Nutrition*, **16**, 615-626.

- BONDI A. (1988) Nutrición animal, Primera edn, pp. 109-120, 293-305. Zaragoza, España: Editorial ACRIBIA.
- BRITOS A., REPETTO J. L., ERRANDONEA N., GARCIARENA D. y CAJARVILLE C. (2006) Efecto del momento de corte y del proceso de ensilaje sobre la fermentabilidad de forrajes templados: Producción de gas in vitro. Universidad de La República. *Memorias de la XIV Jornadas AUGM. Montevideo, Uruguay*. Disponible en: (accedido el www.cori.unicamp.br/jornadas/completos/UDELAR/ND9001-BRITOS.doc. Consultado: 22 de abril de 2015).
- BUNGARIN M. (1998) *Amonio/ nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. II. Extracción nutrimental de hojas*. Tesis en opción al grado académico de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados Universidad Nacional Autónoma de México. p 150.
- CABALLO M. C. R. (2000) Manual de procedimientos para granos para la alimentación animal *Editorial Limusa. Culiacán, Sinaloa*, pp. 128-175. México.
- CÁCERES O. y GONZÁLEZ E. (2000) *Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales*. *Pastos y Forrajes*, **23 (2)**, 87-103.
- CALABRÓ S., TUDISCO R., GROSSI M., BOVERA F., CUTRIGNELLI M. I., GUGLIEMELLI A., PICCOLO V. y INFASCELLI F. (2007) *In vitro fermentation characteristics of corn and sorghum silages*. *Italian Journal Animal Science*, **6(Suppl. 2)**, 559-562.
- CAMPO RODRÍGUEZ F. y VILLAR DELGADO J. (2012) *Forraje verde hidropónico alternativa orgánica para la alimentación animal*. *Agricultura Orgánica*, **18**, 32-34.
- CAMPOS P. R. S. S., VALADARES FILHO S. C., CECON P. R., DETMANN E., LEÃO M. I., SOUZA S. M., LUCCHI B. B. y VALADARES R. F. D. (2006) *Estudo comparativo da*

- cinética de degradação ruminal de forragens tropicais em bovinos e ovinos. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **58**, 1181-1191.
- CANDIA L. (2014) *Evaluación de la Calidad Nutritiva de Forraje Verde de Cebada (Hordeum vulgare) Hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de Cuy (Cavia porcellus) a dos concentraciones. Salud tecnología veterinaria*, **2**, 55-62.
- CÁRDENAS-VILLANUEVA L., BAUTISTA-PAMPA J., ZEGARRA-PAREDES J. y RAMOS-ZUÑIGA R. (2013) *Degradabilidad ruminal de la fibra del follaje pisonay (Erythrina sp). Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, **7 (1)**, 42-49.
- CARMONA J., BOLÍVAR D. y GIRALDO L. (2005) *El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, **18**, 49-63.
- CARRASCO A., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ M., RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ V., MANTECÓN C., ROCHA M., GARCÍA A. y JIMÉNEZ J. D. (2011) *Comparación de crecimiento en cabritas de recría de raza Florida en estabulación con dos diferentes aportes de almidones y FDA en la ración: I.- Peso Vivo. Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Campus Universitario de Rabanales, Córdoba, España. Alimentos*, **3**, 102-106.
- CARRO M. D., VALDÉS C., RANILLA M. J. y GONZÁLEZ J. S. (2000) *Efecto del nivel de ingestión sobre la cinética de tránsito y la síntesis de proteína microbiana en ovejas alimentadas con raciones con diferente relación forraje: Concentrado. Dpto. de Producción Animal. Universidad de León. Investigaciones Agropecuarias: Producción, Sanidad Animal*, **15 (1-2)**, 31-42.
- CARVALHO B. F., ÁVILA C. L. S., PINTO J. C., PEREIRA M. N. y SCHWAN R. F. (2012) *Effects of propionic acid and Lactobacillus buchneri (UFLA SIL 72) addition on*

- fermentative and microbiological characteristics of sugar cane silage treated with and without calcium oxide. Grass and Forage Science*, **67**, 462-471.
- CERRILLO-SOTO M., JUÁREZ R. A., RIVERA A. J., GUERRERO C. M., RAMÍREZ L. R. y BERNAL B. H. (2012) *Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. Interciencia*, **37 (12)**, 906-913.
- CONTRERAS-PACO J., CORDERO-FERNÁNDEZ A., CASTRO-CONTRERAS P. y CCENCHO-GUERRA E. (2008) *Influencia de dos soluciones nutritivas en la composición química y producción de la cebada hidropónica. Quintaesencia*, **1 (2)**, 63-67.
- COSTA P. B., QUEIROZ A. C., MAGALHÃES A. L. R., ZORZI K., MELLO R. O. y OLIVEIRA A. A. M. A. (2008) *Parâmetros digestivos e produção de proteína microbiana em novilhas em crescimento compensatório. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **60**, 1135-1141.
- CRUZ-DOMÍNGUEZ O. A. (2015) *Estudio socioeconómico de la ganadería caprina (Capra hircus) en siete comunas de la parroquia Chanduy, cantón Santa Elena. Tesis en opción al título de Ingeniero en Administración de Empresas Agropecuarias y Agronegocios, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. p 112.*
- CUESTA M., MONTEJO E. y DUVERGEL J. (2007) *Medicina Interna Veterinaria. Tomo I. Vol. 2. In: VARELA F. (ed.), Primera edn, pp. 1-325. La Habana - Cuba.*
- CHANDRAMONI., JADHAO S. B., TIWARI C. M. y KHAN M. Y. (2000) *Energy metabolism with particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations varying in roughage to concentrate ratio. Animal Feed Science and Technology*, **83 (3-4)**, 287-300.
- CHAY C. A., AYALA B. A. J., KÚ V. J. C. y MAGAÑA M. J. G. (2009) *Efecto del tamaño de la partícula sobre, consumo, digestibilidad y balance de nitrógeno en ovinos*

- pelibuey alimentados con dietas basadas en frijol terciopelo (Mucuna pruriens) y grano de maíz. Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **10**, 383 - 392.
- CHEN X. B. y GOMES M. J. (1995) Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives – an overview of the technical details *International Feed Resources Unit, Occasional publication*. Aberdeen, UK. p. 1-22. : Rowett Research Institute.
- CHIKAGWA M. S. K., ADESOGAN A. T., SOLLENBERGER L. E., BADINGA L. K., SZABO N. J. y LITTELL R. C. (2009) *Nutritional characterization of Mucuna pruriens: 1. Effect of maturity on the nutritional quality of botanical fractions and the whole plant. Animal Feed Science and Technology*, **148 (1)**, 34-50.
- CHURCH D. C. y POND W. G. (1994) Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. In: NORIEGA G. (ed.), p. 438. México D.F., México: Limusa S. A.
- DEZA C., DIAZ M. P., VARELA L., VILLAR M., PEN C., BONARDI C., ROMERO C., BENITO M. y BARIOGLIO C. (2007) *Caracterización del caprino criollo del noroeste de la provincia de Córdoba (Argentina) y su relación con la aptitud productiva. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Sitio Argentino de producción animal APPA - ALPA - Cusco - Perú*, 1-7.
- DHANOVA M. S., FRANCE J., LÓPEZ S., DIJKSTRA J., LISTER S. J., DAVIES D. R. y BANNIK A. (1999) *Correcting the calculation of extent of degradation to account for applying the polyester bag method. Journal Animal Science*, **77**, 3385- 3391.
- DÍAZ R. F. (1998) Sistemas de producción de leche y carne con bajos insumos. In: ACPA (ed.) *Producción bovina sostenible*, pp. 109-138. La Habana, Cuba: Asociación Nacional Amistad Cuba-Italia.

- DICKSON L. y MUÑOZ G. (2005) Producción de caprinos y ovinos. In: TECNOLOGÍA M. D. C. Y. (ed.) *Manual de Producción Animal*, Primera edn, p. 300. Barquisimeto, Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIA. Centro de Investigaciones del Estado Lara.
- DISTEL R. (1993) *Effects of early experience on voluntary intake of low-quality roughage by sheep. Journal Animal Science*, **72**, 1191.
- DOSAL-ALADRO J. J. (1987) *Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo condiciones de hidroponía*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agropecuario, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de Concepción, Sede Chillán. p 140.
- EC (2009) *Determination of crude ash. Commission Regulation No. L152/2009 of 26.02.2009. Official Journal of European Commission*, **L54**, 50.
- ELIZONDO J. (2002) *Estimación lineal de los requerimientos nutricionales del NRC para cabras. Agronomía Mesoamericana*, **13 (2)**, 159-163.
- ELIZONDO J. y BOSCHINI C. (2002) *Producción de Forraje con maíz criollo y maíz híbrido. Agronomía Mesoamericana*, **13**, 13-17.
- ESPINOZA F., ARGENTI P., URDANETA G., ARAQUE C., FUENTES A., PALMA J. y BELLO C. (2004) *Uso del forraje de maíz (Zea mays) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. Zootecnia Tropical*, **22 (4)**, 303-315.
- ESPINOZA V. J., PALACIOS E. A., ÁVILA S. N., GUILLÉN T. A., DE LUNA R., ORTEGA P. R. y MURILLO A. (2007) *La ganadería orgánica, una alternativa de desarrollo pecuario para algunas regiones de México*. Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro. Saltillo, pp. 385-390. Coahuila, México.

- FAOSTAT (2014) *Anuario estadístico de la FAO. Disponible en:* <http://faostat3.fao.org/download/Q/QA/E>. (Consultado: 11/08/2016).
- FAVERDIN P., BARATTE C., DELAGARDE R. y PEYRAUD J. L. (2011) *GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 1. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation. Grass Forage Science*, **66** (1), 29-44.
- FAZAEI H., GOLMOHAMMADI H., TABATABAYEE S. y ASGHARI-TABRIZI M. (2012) *Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system. World Applied Sciences Journal*, **16** (4), 531-539.
- FERNANDEZ C., MATA C. y BACHA F. (2006) Alimentación caprina y calidad de la leche. *Nutrición Animal*, pp. 42-48. Valencia y Madrid. España: Facultad de Ciencias Experimentales y de la Salud. Universidad CEU. Cardenal Herrera - NACOOOP, S.A.
- FIEMS L. O., DE BOEVER J. L., AMPE B., VANACKER J. M., DE CAMPENEERE S. y SONCK B. (2015) *Effect of energy restriction and dietary protein level during the re-alimentation period on feed efficiency in double-muscléd Belgian Blue cows. Livestock Science*, **174**, 46-52.
- FIEMS L. O., DE BOEVER J. L., VANACKER J. M. y RENAVILLE R. (2013) *Effect of an energy restriction followed by a re-alimentation period on efficiency, blood metabolites and hormones in Belgian Blue double-muscléd cows. Animal Feed Science and Technology*, **186**, 148-157.
- FIEVEZ V., DE FAUW K., NOTTEBOOM K. y DEMEYER D. (2001) *Effect of level and origin of rumen degradable nitrogen on rumen microbial growth and nitrogen utilisation efficiency of animals fed maize silage at maintenance. Reproduction Nutritive Development*, **41**, 1-16.

- FOSTER J. L., ADESOGAN A. T., CARTER J. N., BLOUNT A. R., MYER R. O. y PHATAK S. C. (2009) *Intake, digestibility, and nitrogen retention by sheep supplemented with warm-season legume hays or soybean meal. Journal Animal Science*, **87 (9)**, 2891-2898.
- GABLER M. T. y HEINRICHS A. J. (2003) *Altering soluble and potentially rumen degradable protein for prepubertal Holstein heifers. American Dairy Science Association. Journal Dairy Science*, **86 (6)**, 2122-2130.
- GALINA M. A., DELGADO-PERTIÑEZ M., ORTÍZ-RUBIO M. A., PINEDA L. J. y PUGA D. C. (2009) *Cinética ruminal y crecimiento de cabritos suplementados con un probiótico de bacterias ácido-lácticas. Pastos y Forrajes*, **32**, 1-12.
- GALINDO J., GONZÁLEZ N., SOSA A., RUIZ T., TORRES V., ALDANA A. I., DÍAZ H., MOREIRA O., SARDUY L. y NODA A. C. (2011) *Efecto de Tithonia diversifolia (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45 (1)**, 33-37
- GARCÍA-CARRILLO M., SALAS-PÉREZ L., ESPARZA-RIVERA J., PRECIADO-RANGEL P. y ROMERO-PAREDES J. (2013) *Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. Agronomía Mesoamericana*, **24 (1)**, 169-176.
- GARCÍA-CASTILLO R. F., CASTILLO-SÁNCHEZ Z. J., KAWAS-GARZA J. R., SALINAS-CHAVIRA J., RUIZ-ZÁRATE F. y LÓPEZ-TRUJILLO R. (2013) *Producción, evaluación química, contenido energético, carbohidratos estructurales y no estructurales y digestibilidad in vitro en maíz forrajero. Revista Científica, Facultad de Ciencias Veterinarias -LUZ*, **30**, 573-590.

- GARCÍA-ESTEVA A., KOHASHI-SHIBATA J., BACA-CASTILLO G. A. y ESCALANTE-ESTRADA J. A. (2003) *Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. Terra Latinoamericana*, **21(4)**, 471-480.
- GARCÍA-TRUJILLO R. y CACERES O. (1985) *Introducción de nuevos sistemas para expresar el valor nutritivo de los forrajes tropicales. IV. Consumo. Pastos y Forrajes*, **8**, 449-455.
- GARCÍA C., GONZÁLEZ-RONQUILLO M. y DOMÍNGUEZ I. (2007) Estimación de la síntesis de proteína microbiana en rumen de cabras mediante la excreción endógena de derivados púricos en orina. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA, Cusco, Perú. Archivo Latinoamericano de Producción Animal, pp. 366-367.
- GARCÍA J. C. (2004) *Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies forrajeras (cebada, trigo y triticale) bajo condiciones de invernadero*. Facultad de Agronomía. Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro Tesis en opción al título de Licenciado en Agronomía, Saltillo. Coahuila, México. p 45.
- GILSANZ J. C. (2007) Hidroponía *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*, p. 32. Programa Nacional de Producción Hortícola Estación Experimental Las Brujas. Montevideo, Uruguay.
- GIRALDO L., GUTIÉRREZ L. y RÚA C. (2007) *Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, **20**, 269-279.
- GOLSHANI A. A., AGHSAGHALI A. M., AGHAZADEH A. M., DASTOURI M. R., SIS N. M. y EBRAHIMNEZHAD Y. (2008) *Estimation of methane production in sheep using nutrient composition of the diet. Journal of Animal and Veterinary Advances*, **7**, 765-770.

- GÓMEZ H. M. (2007) *Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes*. Tesis en opción al título de Ingeniero Zootecnista, Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. p 75
- GRAINGER C., CLARKE T., MCGINN S. M., AULDIST M. J., BEAUCHEMIN K. A., HANNAH M. C., WAGHORN G. C., CLARK H. y ECKARD R. J. (2007) *Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF6) tracer and chamber techniques*. *Journal Dairy Science*, **90** (6), 2755-2766.
- GUTIÉRREZ-DEL RÍO E., ESPINOZA-BANDA A., PALOMO-GIL A., LOZANO-GARCÍA J. J. y ANTUNA-GRIJALVA O. (2006) *Aptitud combinatoria de híbridos comerciales de maíz para La Comarca Lagunera*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **27**, 7-11.
- GUTIÉRREZ D., ELÍAS A., GARCÍA R., HERRERA F., JORDÁN H. y SARDUY L. (2012) *Influencia de un aditivo microbiano en el consumo voluntario de materia seca, fibra neutro detergente e indicadores de la fermentación ruminal de cabras alimentadas con heno de *Brachiaria brizantha**. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **46** (2), 211-216.
- HEGARTY R. S., GOOPY J. P., HERD R. M. y MCCORKELL B. (2007) *Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production*. *Journal Animal Science*, **85** (6), 1479-1486.
- HERNÁNDEZ-DÍAZ M. I., CHAILLOUX-LAFFITA M., MORENO-PLACERES V., OJEDA-VELOZ A., SALGADO-PULIDO J. M. y BRUZÓN-GUERRERO O. (2009) *Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo ferralítico rojo*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **44** (5), 429-436.

- HERRERA-TORRES E., CERRILLO S. M., JUÁREZ R. A., MURILLO O. M., RÍOS R. F., REYES E. O. y BERNAL B. H. (2010) *Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo*. *Interciencia*, **35** (4), 284-289.
- HERRERA ANGULO A. M., DEPABLOS A. L., LÓPEZ M., BENEZRA S. M. y RÍOS-DE ÁLVAREZ L. (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*. *Revista Científica, Facultad de Ciencias Veterinarias LUZ*, **17** (4), 372-379.
- HERRERA RAMÍREZ M. y ECHAVARRÍA VEGA C. (2008) Forraje hidropónico como alternativa de innovación y tecnología en los procesos de producción agroindustrial sustentable *IBERGECYT*, p. 36. La Habana - Cuba.
- HEWITT D. G. (2011) Biology and management of white-tailed deer. In: DG H. (ed.) *Biology: Nutrition*, 1th edn, pp. 75-106. Boca Raton: FL:CRC.
- HOWARD R. P. (2001) *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción*. Ediciones *Mundi Prensa, Madrid, España*, 120.
- INAMHI (2015) Información hidrológica. In: NARANJO JÁCOME C. (ed.) *Anuario hidrológico*, No 52-2014 edn, p. 287. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- JARAMILLO-ARIAS S. R. (2012) *Efecto de suplementación con cultivo hidropónico (Zea mays) en la crianza de terneras desde tres hasta ocho meses de edad en la hacienda Piganta Agrícola S.A. parroquia Atahualpa*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agroindustrial de Alimentos, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. Universidad de Las Américas. Quito, Ecuador. p 137.

- JARRIGE R., GRENET E., DEMARQUILLY C. y BESLE J. M. (1995) *Les constituents del appareil vegetative des plantes fourrageres. En Jarrige R, Ruckebusch Y, Demarquilly C, Farce MH, Journet M (Eds.) Nutrition des Ruminants Domestiques. Ingestion et Digestion. INRA. París, Francia.*
- JOHNSON K. A. y JOHNSON D. E. (1995) *Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci., 73, 2483-2492.*
- JUÁREZ-HERNÁNDEZ M. D. J., BACA-CASTILLO G. A., ACEVES-NAVARRO L. A., SÁNCHEZ-GARCÍA P., TIRADO-TORRES J. L., SAHAGÚN-CASTELLANOS J. y COLINAS-DE LEÓN M. T. (2006) *Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. Interciencia, 31, 246-253.*
- KAMALAK A., CANBOLAT O., EROL A., KILINK C., KIZILSIMSEK M., OZKAN C. O. y OZKOSE E. (2005) *Effect of variety on chemical composition, in vitro gas production, metabolizable energy and organic matter digestibility of alfalfa hays. Livestock Research Rural Development, 17, 7-14.*
- KAWAS J. J. (1995) Factores que afectan el consumo voluntario de forrajes para bovinos en pastoreo *Curso-taller internacional de actualización sobre consumo voluntario de alimentos*, p. 34. Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro: Saltillo, Coahuila, México.
- KNOTT S. A., CUMMINS L. J., DUNSHEA F. R. y LEURY B. J. (2008) *The use of different models for the estimation of residual feed intake (RFI) as a measure of feed efficiency in meat. Animal Feed Science Technology, 143 (1), 242-255.*
- KUMAR S., PUNIYA A. K., PUNIYA M., DAGAR S. S., SIROHI S. K., SINGH K. y GRIFFITH G. W. (2009) *Factors affecting rumen methanogens and methane mitigation strategies. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 25(9), 1557-1566.*

- LACHMANN M. y ARAUJO-FEBRES O. (2008) La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes p. 21. Universidad de Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. Departamento de Producción e Industria Animal. Facultad de Agronomía. Departamento de Zootecnia: Maracaibo, Zulia, Venezuela.
- LARA-HERRERA A. (1999) *Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Terra Latinoamericana, 17 (3), 221-229.*
- LASCANO C., BOREL R., QUIROZ R., ZORRILLA J., CHAVES C., WERNLI C., RUIZ M. E. y RUIZ A. (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, pp. 159-168.
- LEHNINGER A. (1987) Bioquímica. In: OMEGA (ed.), Primera edn, p. 87. Plató Barcelona: España.
- LEÓN S. (2005) *Efecto del fotoperiodo en la producción de forraje verde hidropónico de maíz con diferentes soluciones nutritivas para la alimentación de conejos en el período de engorde.* Tesis en opción al título de Ingeniero Zootecnista, Facultad de Zootecnia. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. p 125.
- LIMA OROZCO R. (2011) *Evaluation of sorghum – soybean (Sorghum bicolor (L.) Moench – Glycine max (L.) Merr.) silage as ruminant feed.* Thesis in option to Sciences Doctoral Grade, Ghent University. Ph.D. Dissertation. Ghent, Belgium. p 131.
- LIMA OROZCO R., LOURENÇO M., DÍAZ CASAS R. F., CASTRO ALEGRÍA A. y FIEVEZ V. (2009) Evaluación del rendimiento forrajero y calidad de la fermentación ruminal del forraje o ensilaje de mezclas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – soya

- (*Glycine max* (L.) Merr.), plantas completas, In: TORRES R., GONZÁLEZ Y., PAZ Y. & LORENZO Y. (eds). Proceedings of the IV Conferencia Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad "AGROCENTRO '2009", UCLV, Santa Clara, Cuba, pp. 1-8.
- LIMA R., DÍAZ R. F., CASTRO A. y FIEVEZ V. (2011) *Digestibility, methane production and nitrogen balance in sheep fed ensiled or fresh mixtures of sorghum-soybean forage. Livestock Science*, **141**, 36-46.
- LÓPEZ-ACOSTA P. P., CANO-MONTES A., RODRÍGUEZ-DE LA ROCHA S., TORRES-FLORES N., RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ M. y RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ R. (2011) *Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Tecnociencia Chiguagua*, **5** (2), 98-104.
- LOPEZ A., R., MURILLO B., TROYO E., RODRÍGUEZ G., ROMERO J. J., LÓPEZ R. y NARANJO A. (2012) *Forraje verde hidropónico, una alternativa para el ganado de zonas áridas. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*, **5**, 1-26.
- LÓPEZ A. R., MURILLO A. B. y RODRÍGUEZ Q. G. (2009) *El Forraje Verde Hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Interciencia*, **34**, 121-126.
- LÓPEZ M. C., RÓDENAS L., PIQUER O., CERISUELO A., CERVERA C. y FERNÁNDEZ C. (2011) *Determinación de producción de metano en caprinos alimentados con dietas con distintos cereales. Archivos de Zootecnia*, **60** (232), 943-951.
- LORES-CORREA L. C. (2013) *Efecto del aditivo microbiano vitafert en cabras alimentadas con forrajes de baja calidad*. Tesis en opción al Grado Académico de Master, Instituto de Ciencia Animal. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Cuba. p. 91.

- LLANOS-PEADA P. (2001) La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Fórmulas Completas. *Walcoagro*. Disponible en: www.walcoagro.com (accedido el 26 de abril de 2012).
- MADSEN J., HVELPLUND T. y WEISBJERG M. R. (1997) *Appropriate methods for the evaluation of tropical feeds for ruminants*. *Animal Feed Science and Technology*, **69** (1.3), 53-66.
- MAGAP (2016) Tabla 6. Caprinos. *III Censo Nacional Agropecuario*. Disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/resultados-censo-nacional/fail/591-reporte-de-resultados-censo-nacional-completo> (accedido el 11 de agosto de 2016).
- MALDONADO-TORRES R., ÁLVAREZ-SÁNCHEZ M. E., CRISTOBAL-ACEVEDO D. y RÍOS-SÁNCHEZ E. (2013) *Nutrición mineral de forraje verde hidropónico*. *Universidad Autónoma Chapingo. Revista Chapingo Serie Horticultura*, **XIX** (2), 211-223.
- MARULANDA C. y IZQUIERDO J. (2003) La Huerta Hidropónica Popular. In: 3 (ed.) *Manual técnico la huerta hidroponica popular*, p. 132. Santiago-Chile: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe.
- MAYNARD L., LOOSLI J., HINTZ H. y WARNER R. (1989) Procesos digestivos en diferentes especies animales. Capítulo 3. In: GRAWN-HILL M. (ed.) *Nutrición Animal*, Cuarta edn, p. 34. México.
- MELLADO M., RODRÍGUEZ A., OLVERA A., VILLARREAL J. A. y LOPEZ R. (2004) *Age and ody condition score and diets of grazing goats*. *Journal of Range Management*, **57**, 517-523.
- MINSON J. (1990) Forage in Ruminant Nutrition. Disponible en: <http://books.google.es/books?isbn0323147984.30> (accedido el 28 de enero de 2015).

- MONLLOR-GUERRA P. (2012) *Efecto de dos niveles de almidón en la dieta sobre la producción de metano de cabras murcianogranadinas en lactación*. Tesis en opción al Grado Académico de Máster en Producción Animal, Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Valencia, España. p. 40.
- MONTENEGRO J. y ABARCA S. (2000) Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales p. 334. San José, Costa Rica: CATIE– FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra.
- MORA-AGÜERO C. E. (2009) *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz sobre la producción de leche de vacas en pastoreo*. Tesis en opción al título de Licenciado en Ingeniería Agronómica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos. San José, Costa Rica. p. 68.
- MORALES-RODRÍGUEZ H., GÓMEZ-DANÉS A., JUÁREZ-LÓPEZ P., LOYA-OLGUÍN L. y LEY DE COSS A. (2012) *Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (Zea mays L.) con diferente concentración de solución nutritiva*. *Abanico Veterinario*, **2 (3)**, 20-28.
- MOYANO-HERNÁNDEZ L. F. y SÁNCHEZ-MORENO H. V. (2012) *Comportamiento de la proteína de forraje verde hidropónico en función del tiempo de cosecha*. *Sistemas de Producción Agroecológica*, **3 (2)**, 36-45.
- MÜLLER L. (2005) *Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (Zea mays L.) con diferentes densidades de siembra y días de cosecha*. *Zootecnia Tropical*, **23**, 105-119.
- NAIK P. K., DHURI R. B., KARUNAKARAN M., SWAIN B. K. y SINGH N. P. (2014) *Effect of feeding hydroponics maize fodder on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows*. *The Indian Journal of Animal Sciences*, **84 (8)**, 1-8.

- NAVARRETE F. R. (2008) *Estudio de la productividad de dos gramíneas (Hordeum vulgare y Triticum aestivum) y una leguminosa (Vicia sp) para forraje verde hidropónico con tres cortes sucesivos en la granja ECAA*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agropecuario, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. p. 107.
- NORO M., SCANDOLO D., LUCINI F. y WITTWER M. (2012) *Respuesta metabólica en ovinos suplementados con alto contenido de nitrógeno no proteínico en la dieta*. *Zootecnia Tropical*, **30**, 225-235.
- NRC (1985) Nutrient requirements of sheep. In: NUTRITION S. O. S., NUTRITION C. O. A., AGRICULTURE B. O. & COUNCIL N. R. (eds.) *Nutrient requirements of domestic animals*. Washington, D.C., USA: National Academy Press.
- NRC (2001) Nutrient requirements of dairy cattle. In: NUTRITION S. O. D. C., NUTRITION C. O. A., RESOURCES B. O. A. A. N. & COUNCIL N. R. (eds.) *Nutrient requirements of domestic animals*. Washington, D.C., USA: National Academy Press.
- NRC. (1981) *Tecnología práctica. Ganadería y praderas. El eslabón. Alimentación de caprinos*. National Research Council (NRC).
- OJEDA F., CÁCERES O. y ESPERANCE M. (1991) Sistema de evaluación para ensilajes tropicales. In: LÓPEZ TAPANES R. V., PEREIRA PÉREZ N., LOIDI RAMOS R. & PÉREZ NAVARRETE A. (eds.) *Conservación de Forrajes*, pp. 15-65. Ciudad de La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- ORDÓÑEZ O. M. (2011) *Evaluación de forraje hidropónico de avena y maíz en la alimentación de cobayos en la parroquia Vilcabamba del cantón Loja*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agropecuario, Facultad de Agronomía. Universidad de Loja. Ecuador. p. 116.

- ORELLANA P., MENDOZA N. y SCORI M. (1998) *Relaciones entre la excreción urinaria de derivados de purinas y creatinina con el consumo. Archivo de medicina veterinaria*, **30** (1), 12-19.
- ORJUELA-VILLALOBOS W. G. (2015) *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmequé*. Tesis en opción al título de Zootecnista, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Perú. p. 86.
- ØRSKOV E. R., DEB-HOVELL F. D. y MOULD F. (1980) *The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Tropical Animal Production*, **5** (3), 195-213.
- ØRSKOV E. R. y McDONALD I. (1979) *The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. The Journal of Agricultural Science*, **92**, 499-503.
- OWENS D., MCGEE M., BOLAND T. y O'KIELY P. (2009) *Rumen fermentation, microbial protein synthesis, and nutrient flow to the omasum in cattle offered corn silage, grass silage, or whole-crop wheat. Journal Animal Science*, **87** (2), 658-668.
- PÁEZ L. S. A. (2013) *Desarrollo ruminal de cabritos y actividad ovárica posparto de cabras criollas en respuesta a diferentes sistemas de crianza*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. p. 203.
- PAPADOPOULOS T. (2004) Manejo del ambiente y los factores nutricionales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos. Proceedings of the Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2004, Chihuahua, México, p. 48.

- PÉREZ-ROBLEDO A. (2013) *Digestibilidad in vitro de maíz y sorgo cultivados en condiciones de hidroponía*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo-México. p. 68.
- PÉREZ J. (1999) *Manual de cultivos hidropónicos*. Ediciones culturales, Santa Fe de Bogotá- Colombia. , 45-46.
- PERRY T. W. (1980). In: PERRY T. W. (ed.) *Beef cattle feeding and nutrition*, Primera edn, pp. 89-94. New York, USA: Academic Press.
- POLI M. A., ROLDÁN D. L., SUÁREZ C., FERNÁNDEZ J. L., SALDAÑO S. A., HOLGADO F. D. y RABASA A. E. (2005) *Caprinos criollos en Argentina: Avances en la caracterización y evaluación productiva*. Instituto de Genética, CICV y A-INTA, CC:25- CP:1712, Castelar, Argentina. *Agrociencia*, **IX (1) y (2)**, 479-484.
- QUISPE H. A. (2013) *Rendimiento de cebada y avena como forraje verde hidropónico en relación a la densidad de siembra en carpa solar*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. Perú. p. 95.
- RAMOS-TOCTO O. E. (2010) *Proyecto de factibilidad: Faenamiento y comercialización de la producción de carne de cabra en la comuna Zapotal, cantón Santa Elena*. Tesis en opción al título de Ingeniero Agropecuario, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. p. 128.
- RIVERA A., MORONTA M., GONZÁLEZ-ESTOPIÑÁN M., GONZÁLEZ D., PERDOMO D., GARCÍA D. y HERNÁNDEZ G. (2010) *Producción de forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays L.) en condiciones de iluminación deficiente*. *Zootecnia Tropical*, **28 (1)**, 33-41.

- RODRIGUES-CAVALCANTE A. C., AGUIAR-LOPES E. y DELMONDES-BOMFIM M. A. (2010) Experiencias en Investigación Participativa en Sinergia con el Desarrollo en la Producción de Rumiantes Menores en el Semiárido del Nordeste de Brasil. Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), Caprinos y Ovinos, pp. 209-248. Sobral, Ceará, Brazil.
- RODRÍGUEZ-DELFIN A. y CHANG M. (2012) Hidroponía y Nutrición Mineral, p. 25. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina: Lima, Perú.
- RODRÍGUEZ R. H., RODRÍGUEZ E. C., FLORES A., I. S. y GRADO A. (2003) *Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. Hidroponía*, 139-149.
- ROMERO H. M. (2012) *Uso de bloques multinutrientes de destrios de tomate y pepino como alternativa al concentrado en la dieta de caprino efectos sobre la fermentación y microbiota ruminal, la utilización de nutrientes y la producción y composición de la leche*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad de Córdoba. España. p. 264.
- ROMERO V. M., CÓRDOVA D. G. y HERNÁNDEZ G. E. (2009) *Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. Acta Universitaria*, **19** 11-19.
- SALAS-PÉREZ L., PRECIADO R. P., ESPARZA R. J., ÁLVAREZ R. V., PALOMO G. A., RODRÍGUEZ D. N. y MÁRQUEZ H. C. (2010) *Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. Terra Latinoamericana*, **28** (4), 355-360.

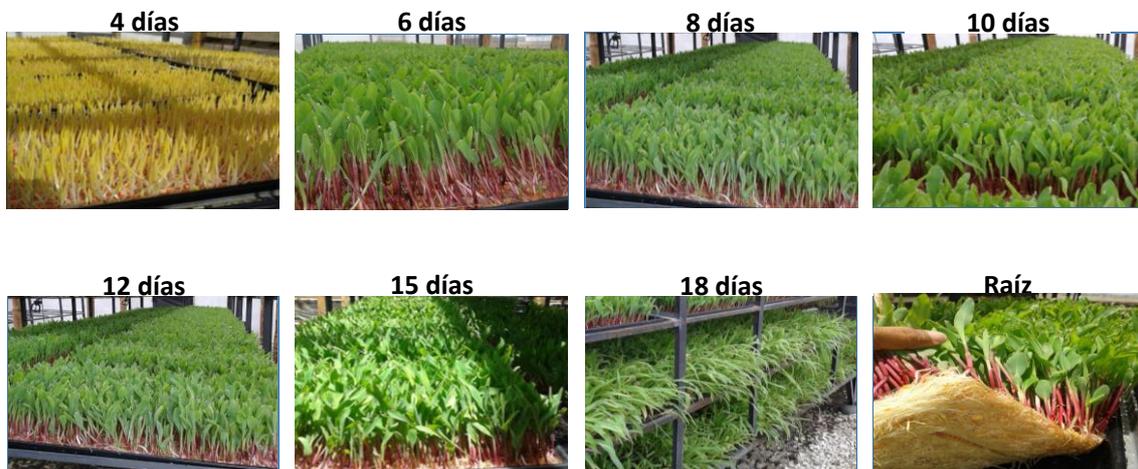
- SÁNCHEZ-DEL CASTILLO F., MORENO-PÉREZ E. D. C., CONTRERAS-MAGAÑA E. y MORALES-GÓMEZ J. (2013) *Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos. Revista Chapingo Serie Horticultura*, **XIX**, 35-43.
- SÁNCHEZ-LAIÑO A., MEZA-CHICA A., ÁLVAREZ-TUBAY A., RIZZO-ZAMORA L. y GUADALUPE-PUENTE G. (2010) *Forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) deshidratado en el engorde de conejos nueva zelanda (Oryctolagus cuniculus). Ciencia y Tecnología*, **3 (2)**, 21-23.
- SÁNCHEZ C. A., IZQUIERDO J. y FIGUEROA J. (2001) *Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico*, 1era edn, p. 75. Oficina Regional de la FAO para America Latina y EL Caribe: Santiago, Chile.
- SÁNCHEZ J., HERNÁNDEZ D. y DURAN D. (2010) *Valoración del forraje verde hidropónico de maíz (FVH) sobre la calidad de la canal del conejo raza Nueva Zelanda. Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, **8 (1)**, 5-15.
- SEPÚLVEDA-PALACIOS H. (2013) *Producción y calidad de la leche en cabras Murciano Granadinas alimentadas con Triticale hidropónico*. Tesis en opción al Grado Académico de Maestro en Ciencias en Zootécnica, Subdirección de Posgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, México. p. 70.
- SPSS (2012) *Software for Windows*, release 21.0, Inc., Chicago, IL, USA.
- STEEL R. G. D., TORRIE J. H. y M. D. (1997) *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. McGraw-Hill Book Company In Company. New York, p. 666.
- STEINER A. A. (1966) *The Influence of the Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato. Plants. Plant Soil.*, **24**, 434-466.

- SUN X. Z. y WAGHORN G. C. (2012) *Improving in sacco incubation technique to evaluate fresh forage for selecting fast-degrading perennial ryegrass (Lolium perenne L.)*. *Grass and Forage Science*, **67** (3), 437-445.
- TAMMINGA S., VAN STRAALEN W. M., SUBNEL A. P. J., MEIJER R. G. M., STEG A., WEVER C. J. G. y BLOK M. C. (1994) *The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system*. *Livestock Production Science*, **40**, 139-155.
- TILLEY J. M. A. y TERRY R. A. (1963) *A two stage technique for in vitro digestion of forage crops*. *Journal Brazil Grass Society*, **18**, 104-111.
- TOBAL C. F. (1999) Evaluacion de los alimentos a través de los diferentes métodos de digestibilidad. *Anuario de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. Disponible en: <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a16tobal.pdf> (accedido el 28 de enero de 2015).
- TRESINA-PIOUS S. y MOHAN-VEERABAHU R. (2012) *Comparative assessment on the nutritional and antinutritional attributes of the underutilized legumes, Canavalia gladiata (Jacq.) DC, Erythrina indica Lam. and Abrus precatorius L.* *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **15** (3), 539 - 556.
- TUKEY J. W. (1949) *Comparing Individual Means in the Analysis of Variance*. *Biometrics*, **5**, 99-114.
- VAN NEVEL C. J. y DEMEYER D. I. (1977) *Effect of monensin on rumen metabolism in vitro*. *Applied and Environmental Microbiology*, **34** (3), 251-257.
- VAN SOEST P. J. (1994) *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press. Ithaca (USA). 476.
- VAN SOEST P. J., ROBERTSON J. B. y LEWIS B. A. (1991) *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. *Journal Dairy Science*, **74** (10), 3583-3597.

- VARGAS-RODRÍGUEZ C. (2008) *Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana*, **19**, 233-240.
- VILLALOBOS-GONZÁLEZ C., GONZÁLEZ-VALENZUELA E. y ORTEGA-SANTOS J. A. (2000) *Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. Técnicas Pecuarias Mexicanas*, **38** (2), 119-134.
- WATTIAUX M. (2001) *Composicion y analisis de alimentos. Esenciales Lecheras– Nutrición y Alimentación*, **240**, 5-8.
- WRIGHT A. D. G., WILLIAMS A. J., WINDER B., CHRISTOPHERSEN C. T., RODGERS S. L. y SMITH K. D. (2004) *Molecular diversity of rumen methanogens from sheep in Western Australia. Applied and Environmental Microbiology*, **70**, 1263.
- YERKA M. K., WATSON A., TOY J. J., ERICKSON G., PEDERSEN J. F. y MITCHELL R. (2015) *Yield and forage value of a dual-purpose bmr-12 sorghum hybrid. Crop Science*, **55**, 681-687.
- YOKOYAMA M. T. y JOHNSON K. A. (1993) *Microbiología del rumen e intestino. En: Church DC. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 137-156.*
- ZAKARIA M. S., A. H. SAELO A. H., AHMED E. B. y ABOU-EL-ELA R. A. (2006) *Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as influenced by potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus. World Journal Agricultural Science*, **2**, 66-74.
- ZHANG W., YI Z., HUANG J., LI F., HAO B., LI M., HONG S., LV Y., SUN W., RAGAUSKAS A., HU F., PENG J. y PENG L. (2013) *Three lignocellulose features that distinctively affect biomass enzymatic digestibility under NaOH and H₂SO₄ pretreatments in Miscanthus. Bioresource Technology*, **130**, 30-37.

ANEXOS

ANEXOS



Fuente: fotos de los autores

Figura 1A. Evolución del crecimiento de plantas de maíz cultivadas en hidroponía durante 18 días



Figura 2A. Ubicación geográfica de los experimentos.