

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE ZOOTECNIA

Aportes de aminoácidos (AA) de forrajes de piso sobre los requerimientos de vacas lecheras en producción.

Luis Felipe Álvarez Loáiciga.

Proyecto de graduación para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con Énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

Ing. Augusto Rojas Bourrillón, M. Sc.

Director de tesis

Ing. Carlos Campos Granados, Lic.

Miembro del Tribunal

Ing. Luis A. Villalobos Villalobos, Ph. D.

Miembro del Tribunal

Ing. Jorge Alberto Elizondo Salazar, Ph. D.

Miembro del Tribunal

Ing. Carlos Arroyo Oquendo, M. Sc.

Director de Escuela

Ing. Luis Felipe Álvarez Loáiciga, Bach

Sustentante

DEDICATORIA.

A Dios, a mis padres, a mis hermanos y hermana.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por la mayor bendición en mi vida: mi familia, y por permitirme tener salud para despertarme todos los días, poder hacer lo que me apasiona y seguir luchando día a día.

A mis padres, Hernán y Ligia, por su amor y apoyo incondicional, por nunca permitirme rendirme, por sus consejos y por estar siempre para mí.

A mi hermana Rebeca, por todo el soporte que me diste, a mis hermanos Nancho y Macho por ser un ejemplo e inspiración en mi vida y siempre querer lo mejor para mí.

A Adriana por impulsarme y apoyarme en este último empujón de la carrera y por todo lo que has aportado a mi vida.

A Carlos Campos, por ser un gran profesor, consejero, tutor, amigo y ejemplo tanto profesional como personal.

A don Augusto Rojas por tanto conocimiento y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A todos los profesores de la Escuela de Zootecnia por compartir los conocimientos y apoyo durante mis años en la universidad.

INDICE

Contenido.....	Página
PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
1.INTRODUCCIÓN.....	12
2.OBJETIVOS.....	14
a. General.....	14
b. Específicos.....	14
3.REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
3.1. Características de los forrajes.....	15
3.2. Importancia de los forrajes en la alimentación bovina.....	17
3.3. Importancia de los aminoácidos (AA).....	20
3.4. Aminoácidos en rumiantes.....	22
3.5. Importancia de la lisina, metionina e histidina en bovinos.....	24
3.6. Consumo de materia seca.....	27
3.7. Estimaciones de consumo de materia seca.....	28
3.7.1. CSM según la concentración de FDN.....	28
3.7.2. CSM según producción de biomasa.....	29
4.MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1. Muestreo de los forrajes utilizados.....	31
4.2. Determinación del valor nutricional y del perfil de aminoácidos.....	32
4.3. Estimaciones de requerimientos de proteína metabolizable (g/día) y aminoácidos como porcentaje de proteína metabolizable (%PM).....	32
4.4. Estimaciones de consumo de materia seca (CMS).....	33
4.4.1. Estimación de CMS según la concentración de FDN.....	33
4.4.2. Estimación de CMS según técnica de Botanal®.....	33
4.5. Análisis de información.....	34
5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
5.1. Perfil de aminoácidos de forrajes de zona baja y zona alta.....	35
5.2. Requerimientos de proteína metabolizable de vacas lecheras en producción.....	40
5.3. Estimaciones de consumo de materia seca (CMS).....	43
5.4. Aportes de lisina, metionina e histidina sobre los requerimientos nutricionales de vacas lecheras a diferentes niveles productivos.....	49
5.4.1. Aportes sobre los requerimientos de vacas Jersey.....	49

5.4.2.Aportes sobre los requerimientos de vacas Holstein.....	55
6.CONCLUSIONES.....	62
7.LITERATURA CITADA.....	63
8.ANEXOS	77

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Diferencias fisiológicas entre las plantas C4 y C3.....	16
2	Contenidos de MS, PC y perfil de aminoácidos 4 forrajes de piso de zona alta en fincas comerciales de Costa Rica.....	34
3	Contenidos de MS, PC y perfil de aminoácidos de 5 forrajes de piso de zona baja en fincas comerciales de Costa Rica.....	36
4	Requerimientos de proteína metabolizable (g/día) para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.....	37
5	Requerimientos de lisina como porcentaje de proteína metabolizable (g/día) para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.....	37
6	Requerimientos de metionina como porcentaje de proteína metabolizable (g/día) para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.	37
7	Requerimientos de histidina como porcentaje de proteína metabolizable (g/día) para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.	38
8	Consumos de materia seca (kg MS) de vacas lecheras de razas Holstein y Jersey, estimado según %FDN y producción de biomasa de 9 pastos de piso utilizados en ganadería en Costa Rica.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Proceso biosintético para la formación de esqueleto de carbono de los 20 aminoácidos esenciales.....	20
2	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de lisina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.....	50
3	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según metionina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.....	52
4	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de histidina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.....	54
5	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de lisina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein.....	56
6	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de metionina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein.....	58
7	Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de histidina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein.....	60

INDICE DE ANEXOS.

Figura		Página
1	Planes de fertilización utilizados en 9 forrajes de piso utilizados en ganadería en Costa Rica.....	68
2	Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.....	69
3	Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.....	70
4	Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.....	71
5	Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.....	72
6	Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.....	73
7	Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.....	74
8	Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.....	75
9	Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.....	76

RESUMEN.

En el presente trabajo se determinó el perfil de aminoácidos de 9 forrajes de piso utilizados en ganadería en Costa Rica y su aporte sobre los requerimientos de vacas Jersey y Holstein con diferentes niveles productivos (12, 15, 20 y 25 kg leche/día). El principal objetivo fue determinar el contenido de aminoácidos de 9 pastos: 4 de zona alta y 5 de zona baja. Se realizaron 5 muestreos a cada pasto y se analizó el contenido de MS, PC, FDN, perfil de aminoácidos y se midió la disponibilidad promedio de materia seca por ciclo de pastoreo mediante la técnica de Botanal[®]. Se utilizaron 2 estimaciones de consumo de materia seca: una teórica basada en el contenido de FDN de los pastos (120/FDN) y otra asumiendo un consumo según área de pastoreo y un aprovechamiento de pasturas por parte de los animales. El valor nutricional de los pastos fue añadido al software NRC (2001) y según las estimaciones de consumo de materia seca se realizaron simulaciones para determinar el aporte de los 3 aminoácidos limitantes en producción láctea (lisina, metionina e histidina). Los requerimientos de estos aminoácidos se reportan como porcentaje de la proteína metabolizable (7%, 2,5% y 2,3% respectivamente) según la literatura. El mayor contenido de PC es reportado para el pasto Festulolium (20,79±2,63%) mientras que para el pasto Limpograss se obtuvo el menor valor (6,40±1,72%). Con respecto al contenido de FDN, el Ryegrass reporta el valor más bajo (44,94%) mientras que el Limpograss el más alto (73,14%). La mayor producción promedio de biomasa es reportada para el pasto Estrella Africana (5,4 ton MS/ha/ciclo) y la menor producción se obtuvo para el Festulolium (1,9 ton MS/ha/ciclo). En el caso del contenido de los 3 aminoácidos limitantes el pasto Kikuyo contiene el mayor porcentaje de lisina (1,12±0,77% de la materia seca), el Ryegrass de metionina (0,41±0,22% de la materia seca) y la Estrella Africana el mayor contenido de histidina (0,62±0,82% de la materia seca). Para el pasto Tanner se obtuvo el menor contenido de lisina (0,54±0,25% de la materia seca, y para el Mulato II se reportan los menores contenidos de metionina e histidina (0,19±0,05% y 0,13±0,08% de la materia seca respectivamente). Con respecto a los aportes de los pastos sobre los requerimientos de vacas Jersey, según la estimación de consumo teórico los mayores aportes de lisina y metionina son reportados para el pasto Ryegrass, mientras que el Festulolium reporta mayor potencial de producción con base en el aporte de histidina. Contrario a esto, el pasto Tanner reporta los menores aportes de lisina y metionina, estimando potenciales productivos de 6,03 y 6,13 kg leche/animal/día con base en los aminoácidos anteriores, con respecto a histidina el menor aporte fue obtenido por el Mulato II, reportándose un potencial productivo de 4,12 kg leche/animal/día. Tomando en cuenta la estimación de consumo vía forraje utilizando la disponibilidad de materia seca los mayores aportes de los 3 aminoácidos en estudio y sus potenciales de producción son obtenidos para el

pasto Estrella Africana (hasta un 100% de aporte de histidina para el mayor nivel de producción). Los menores aportes sobre los requerimientos de los 3 aminoácidos son reportados para el forraje Tanner con potenciales de producción inferiores a 5,50 kg leche/animal/día. Para los animales de raza Holstein el pasto Festulolium reporta los mayores aportes de los 3 aminoácidos limitantes (100% de los requerimientos para producción diaria de 25 kg) según la estimación de consumo basada en el contenido de FDN de los pastos, contrario al aporte de lisina reportado para el pasto Tanner, el cual se estimó el menor potencial productivo (menor a 8,7 kg leche/animal/día). Con respecto a los aportes teóricos de metionina e histidina es el pasto Mulato II mostró los menores aportes y menores estimaciones de producción (8,4 y 5,9 kg leche/animal/día respectivamente, Cuando se estimó el consumo de materia seca utilizando la técnica de Botanal® por parte de las vacas Holstein se obtuvo que el pasto Estrella Africana satisface al 100% los requerimientos de los 3 aminoácidos al nivel máximo de producción. Los menores aportes de lisina, metionina e histidina fueron obtenidos para el forraje Tanner, reportándose potenciales niveles productivos de 7,7; 7,8 y 6 kg leche/animal/día respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN.

En Costa Rica según el INEC (2017) hay 1,495,551 cabeza de ganado, de las cuales un 16,2% se encuentran en sistemas productivos de lechería intensiva, representando 85,836 vacas en producción. Además, se reporta que un 82% de estas fincas, utilizan el pastoreo como principal sistema de producción.

Según Villalobos y Sánchez (2010b) en nuestro país la rentabilidad de las producciones ganaderas se sustenta en las prácticas de manejo de los pastos, los cuales constituyen la fuente de nutrimentos más económica que puede consumir un rumiante. Para que las pasturas realmente hagan aportes significativos a la economía de la finca, el productor debe conocer el estado fisiológico de mayor producción y mejor calidad en que debe cosecharlas, así como sus bondades y limitaciones para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales (Sánchez 2007).

Una utilización eficiente de los pastos se fundamenta en dos aspectos: el manejo del pasto y la suplementación estratégica a los animales. Para el manejo de la planta se debe considerar su fenología para cosecharla en el momento en que tiene su mejor contenido de nutrimentos y a la vez suficientes reservas de carbohidratos solubles en sus órganos de almacenamiento para sobreponerse a la defoliación causada por el pastoreo y continuar con un nuevo ciclo de crecimiento (Fulkerson y Donaghy 2001).

Cuando aumenta la edad de rebrote, provoca cambios significativos en los componentes solubles, estructurales y la digestibilidad de los pastos, lo cual hace que su valor nutritivo disminuya con el avance de la edad, cuya tasa de reducción es mayor en las gramíneas que en las leguminosas. Bajo condiciones de pastoreo, estos cambios se producen de forma diferente, estando relacionados directamente con la cantidad y composición estructural del material residual después del pastoreo y a través del período de crecimiento (Bircham y Hodgson 1983).

Costa Rica al ser un país tropical, cuenta con gran variedad de forrajes que son utilizados en la alimentación animal, por esta razón es importante evaluar su calidad nutricional. El valor nutricional de los forrajes, que depende principalmente de la especie, reviste gran importancia en la nutrición del ganado de leche, ya que la ingesta adecuada de

nutrientes provenientes del forraje repercute de manera importante sobre la producción de los animales y, por ende, sobre la rentabilidad de la explotación (Arce 2016, Elizondo 2017)

Para determinar la calidad de los forrajes y sus aportes a las dietas de los bovinos, se debe evaluar nutrimentos de rutina como lo son: proteína cruda, fibra detergente neutro, energía estimada (total de nutrimentos digestibles, energía digestible, metabolizable o neta) o bien digestibilidad 'in vitro' de la materia seca (Sánchez 2007).

Según Edmunds et al. (2012) durante muchos años se ha hecho uso de la proteína cruda (PC) y proteína degradable (PD) y no degradable (PND) en el rumen como indicadores en el balance nutricional de este nutriente, sin conocer realmente si la cantidad de proteína suministrada satisface las necesidades de aminoácidos (AA) para las etapas productivas de los rumiantes. Esta práctica puede ser perjudicial para el medio ambiente y costoso para los productores. Se ha demostrado que la formulación para proteína metabolizable mejora la eficiencia de la utilización de nitrógeno en la dieta, mientras que posiblemente mejora la producción. Los aminoácidos son requeridos sobre un patrón ideal para cubrir las necesidades fisiológicas de los animales en las diferentes etapas de vida (Vargas y Elizondo 2015).

La nutrición de precisión se ha convertido en una estrategia esencial para optimizar los ingresos sobre el costo de alimentación en hatos lecheros, principalmente a través de un aumento en la utilización de los nutrientes y los beneficios correspondientes en la producción de leche y componentes lácteos, estos beneficios se pueden lograr a través de la formulación de dietas dirigidas a un equilibrio óptimo de aminoácidos (AA) (Ferraretto et al. 2018).

Debido a la importancia de conocer el perfil de AA de los forrajes de uso común en las fincas ganaderas de Costa Rica, y el aporte de estos a las dietas de las vacas productoras de leche, y debido a la ausencia de información de este tipo en el país, el presente trabajo presenta información pertinente y precisa de este componente nutricional de los forrajes.

2. OBJETIVOS

a. General.

1. Determinar el perfil de aminoácidos en pastos de piso y su aporte en los requerimientos de vacas lecheras en producción.

b. Específicos.

1. Determinar el perfil de aminoácidos de forrajes de piso de altura y bajura utilizados en fincas ganaderas de producción lechera en Costa Rica.
2. Estimar el aporte de lisina, metionina e histidina de los forrajes sobre los requerimientos de vacas lecheras en producción.
3. Comparar los aportes de lisina, metionina e histidina sobre los requerimientos nutricionales de vacas lecheras en producción mediante dos diferentes estimaciones de consumo de materia seca (CMS).

3. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. Características de los forrajes.

Según Del Pozo (2000) en las regiones tropicales predominan un amplio número de especies de plantas que poseen vías metabólicas diferentes como son: las gramíneas tropicales (vía fotosintética, ácidos dicarboxílicos, C_4) y las leguminosas tropicales (vía ácidos fosfoglicéricos, C_3).

Las plantas C_4 poseen una estructura foliar conocida como anatomía de Kranz que se caracteriza por tener las células del mesófilo dispuestas en corona alrededor de la vaina de los haces vasculares, las cuales poseen paredes celulares gruesas con cloroplastos de mayor tamaño, más abundante y en disposición específica, mientras que las C_3 presentan un solo tipo de célula con cloroplastos que tienen una estructura agranal y un menor grado de especialización (Del Pozo 2000)

Otras de las características que poseen las plantas C_4 es la alta afinidad de la enzima de molécula receptora primaria (PEPC) por el CO_2 y la mayor actividad carboxilasa de la enzima rubisco en las células del haz vascular que permiten que el proceso fotosintético sea aparentemente insensible a los cambios de concentración de O_2 atmosférico y respondan de forma positiva al aumento de la concentración de CO_2 atmosférico, lo cual garantiza que la fotosíntesis se desarrolle bajo condiciones más estables, siempre que no exista inhibición enzimática por altas o bajas de temperatura (Simón y Hatch 1994).

Las plantas C_4 generan un costo energético (ATP) superior para el desarrollo de la fotosíntesis, aunque existe una amplia variación en los valores entre especies, lo cual puede estar relacionado en parte a diferencias metabólicas. No obstante, el balance energético general es superior a las C_3 , debido a que realiza una mayor actividad fotosintética por unidad de superficie foliar (Del Pozo 2000).

Esta mayor eficiencia fotosintética les confiere a las plantas C_4 mayores niveles producción de biomasa seca con respecto a las plantas C_3 , cuyos valores pueden alcanzar hasta 85 toneladas de materia seca/ha/año, siempre que no existan limitaciones biológicas y que las condiciones ambientales sean favorables. Sin embargo, este potencial de las plantas C_4 no está en correspondencia con los niveles de producción por animal que se alcanza, cuyas

razones están asociadas a las características anatómicas y morfológicas particulares que poseen.

Una de las principales características de las plantas C_4 es que realizan mayor deposición de fibra en la pared de celular como mecanismo de adaptación y protección a las diferentes plagas que se encuentra en el trópico y a las condiciones climáticas, donde la irradiación solar y la temperatura ambiente les permite crecer de forma más o menos continua durante todo el año ((Minson 1990, Van Soest 1994).

Bajo condiciones de estrés como déficit hídrico se producen importantes cambios metabólicos que en muchas especies se consideran como adaptativos, los cuales se caracterizan por una disminución de la síntesis de proteínas, aumento en la concentración de aminoácidos libres, especialmente prolina, glicina, betaína, dipoliaminas y una disminución en la velocidad de síntesis del ARN (Lósch 1995).

Estos cambios metabólicos, generalmente, tienen pocos efectos sobre la calidad de las plantas y los efectos beneficiosos que se señalan están relacionados con el proceso de crecimiento. En este sentido se plantea que el aumento en la calidad de los pastos debido al estrés hídrico está asociado a cambios morfológicos en las plantas tales como: reducción en el crecimiento de los tallos y aumento en la proporción de hojas, elementos característicos en el retraso de la madurez de las plantas (Del Pozo 2000).

Las plantas C_4 presentan una menor concentración de proteína bruta ($N \times 6,25$) y limitan el consumo voluntario cuando sus contenidos no sobrepasan el siete por ciento de la materia seca (Norton y Poppi 1995).

Las principales diferencias fisiológicas entre las plantas C_4 y C_3 se aprecian en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diferencias fisiológicas entre las plantas C4 y C3.

Características	C4	C3
Capacidad fotosintética (mg CO ₂ /dm ² /h)	40-60	20-30
Fotorespiración neta (mg CO ₂ /dm ² /h)	No existe	5-15
	aparentemente	
Punto de saturación lumínica (Klux)	60	20-30
Eficiencia del uso de agua (g agua/g MS)	450-950	250-350
Relación fotosíntesis/transpiración	Baja	Alta
Temperatura óptima de crecimiento (°C)	22-35	15-22
Temperatura mínima de crecimiento (°C)	10-15	5
Eficiencia en el uso del nitrógeno	Alta	Baja
Requerimiento Energético	Teórico	
CO ₂ :ATP:NADPH-H+	1:5:2	1:3:2

Fuente: Del Pozo (2000).

3.2. Importancia de los forrajes en la alimentación bovina.

Los forrajes constituyen la principal fuente de nutrimentos para la alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales. El principal atributo de los pastos tropicales es su gran capacidad para producir materia seca, lo que los hace ideales para suministrar proteína, energía, minerales, vitaminas y fibra al ganado bovino especializado en la producción de leche, así como al de doble propósito y de carne (Sánchez 2007).

Teniendo en cuenta la necesidad de aumentar la eficiencia en la producción ganadera, se hace necesario establecer cultivares bien adaptados con altos rendimientos por unidad de superficie y que contribuyan a mantener el número de animales para aumentar de manera racional la producción de carne y/o leche por unidad de superficie (Perozo 2013).

Molano et al. (2016) indican que conocer el valor nutritivo de los alimentos que consumen los animales en forma oportuna y confiable es de vital importancia para el éxito del negocio ganadero, ya que condiciona directamente el desempeño productivo y reproductivo de los animales.

Dentro de los componentes de la dieta, el forraje es el más variable en cuanto a su valor nutricional ya que éste varía según sea su estado de madurez a la cosecha (Hannaway et al. 1999). Entre los nutrimentos que deben analizarse de rutina están la materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, digestibilidad in-vitro de materia seca, extracto etéreo, lignina, calcio, fósforo y cenizas (De García 2011).

La mayoría de gramíneas forrajeras que conforman la base de las actuales pasturas en el trópico, se caracterizan por una capacidad alta de producción primaria (expresado en forraje fresco o materia seca), aunque se ven desfavorecidas en cuanto a su capacidad de producción secundaria (cantidad de producto animal obtenido por el uso del forraje, expresado en kilogramos de peso ganados o litros de leche producidos). Su comparación con las gramíneas dominantes en zonas templadas evidencia desventajas en relación con los contenidos de proteína cruda y digestibilidad de la materia seca (Martínez et al. 1996, Sánchez et al. 2000).

Según Villalobos y Sánchez (2010a) las características ambientales influyen sobre la producción de materia seca de los pastos y por tanto el establecimiento de especies de clima templado en condiciones tropicales de altura debe asegurar una producción de biomasa relativamente constante y un adecuado aprovechamiento y consumo de los animales.

Con respecto al valor nutricional de los pastos y forrajes tropicales, la relación entre la composición química y biológica de los mismos y los requerimientos nutricionales de nuestros hatos de ganado bovino, indica que los pastos y forrajes son de mediano a bajo valor nutricional, con contenido proteico típicamente bajo y una proporción de pared celular alta que limitan la producción de proteína microbiana en el rumen (Sánchez 2007, Villalobos y Arce 2014).

Los forrajes que crecen en el trópico tienen alrededor de 15 unidades de digestibilidad menos que aquellos que se desarrollan en zonas de clima templado, lo que se debe a que tienen una cantidad mayor de pared celular y un contenido menor de carbohidratos de fácil fermentación en el rumen, o sea carbohidratos no fibrosos (CNF). Así mismo, esa pared celular es más lignificada y por lo tanto menos digestible. La poca cantidad de carbohidratos no fibrosos de los pastos tropicales no permite una utilización adecuada de la proteína dietética por parte de los microorganismos del rumen (Van Soest 1994).

Los forrajes se deben analizar en época lluviosa y seca, y una vez que se tenga una idea clara del valor nutricional de los mismos de una finca, se deben analizar solo aquellos nutrimentos que son indicadores, tales como la proteína cruda y si es posible la digestibilidad *'in vitro'* de la materia seca (Cowan y Lowe 1998).

Villalobos y Arce (2014) demostraron que en Costa Rica existe una variabilidad en el contenido de proteína cruda en el pasto Estrella africana según la climatología. En los meses de mayor precipitación encontraron las concentraciones más altas de hasta 25,58%, mientras que en la época seca bajaron hasta 16,07%. Esta disminución fue justificada por la menor presencia de humedad en el suelo, lo que limita la movilidad del nitrógeno hacia y dentro de la planta.

Según Fulkerson et al. (1998) para que los forrajes sean de alto valor nutricional sus contenidos de carbohidratos estructurales deben ser bajos y degradables, el contenido de carbohidratos solubles altos y en balance con los aminoácidos, la proteína debe ser de baja degradabilidad ruminal (proteína de sobrepaso), un contenido de lípidos superior al 5% de la materia seca y concentración de taninos inferior a 6%.

Diversos trabajos han mostrado de una baja ganancia de peso vivo (PV), y una pérdida de condición corporal (CC) en ganado de carne alimentado con forraje de baja calidad, lo cual se atribuye al bajo consumo de nutrientes que se logra con este tipo de alimento. Los forrajes de baja calidad (deficientes en proteína) presentan un bajo consumo voluntario debido a que se degradan muy lentamente y permanecen mucho tiempo retenidos en rumen (Soto y Reinoso 2007).

La producción de leche de las vacas que consumen especies de gramíneas C₄ del subtrópico y trópico es menor a la de animales que consumen especies C₃ de clima templado, debido a que consumen menos energía digestible (Van Soest y Giner-Chavez 1994). Lo anterior se debe a que los pastos tropicales y subtropicales contienen más fibra detergente neutro, lo cual hace que los animales consuman menos materia seca y que la misma, aporte una cantidad menor de energía (NRC 2001).

3.3. Importancia de los aminoácidos (AA).

Las proteínas son las macromoléculas más abundantes presentes en todas las células y en todos sus componentes. Se encuentran en gran variedad de formas, tipos y tamaños. Exhiben además una gran diversidad de funciones biológicas. Lo curioso es que simples unidades proveen la estructura de estas importantes moléculas. Todas las proteínas, desde la más simple hasta la más compleja, están formadas por diferente número y combinaciones de un grupo de 20 aminoácidos, los cuáles poseen en su estructura al menos un átomo de nitrógeno. Se conocen otros 150 que no forman parte de las proteínas. Generalmente, el número de aminoácidos que forman una proteína oscila entre 100 y 300 ((Nelson y Cox 2000, Luque 2008).

Se ha reconocido la importancia nutritiva de los aminoácidos sabiendo que algunos no pueden ser sintetizados por el animal, o sintetizados suficientemente rápido, a partir de otros aminoácidos, para satisfacer los requisitos para la síntesis de proteínas. Estos fueron llamados aminoácidos esenciales (AAE) (Schwab 2012).

Según D' Mello (2003) los animales requieren de un núcleo de 9 aminoácidos para mantenimiento y propósitos productivos: Histidina (His), Isoleucina (Ile), Leucina (Leu), Lisina (Lys), Metionina (Met), Fenilalanina (Phe), Treonina (Thr), Triptofano (Typ), y Valina (Val); y necesitan obtenerlos de la dieta, ya que los animales tienen inhabilidad para sintetizar el correspondiente esqueleto de carbono o ceto ácido. Los aminoácidos restantes que se necesitan para la síntesis de proteínas pero que pueden ser sintetizados por el animal se denominan AA no esenciales.

El esqueleto de carbono de los aminoácidos deriva de: 3-fosfoglicerato, fosfoenolpiruvato, o piruvato generado durante glicólisis, ó 2 oxogluratato u oxaloacetato generado en el ciclo de ácido cítrico. Mientras que el grupo amino se deriva de reacciones de transaminación con glutamina o glutamato (Taiz y Zeiger 2010). La biosíntesis del esqueleto de carbono de cada uno de los aminoácidos se muestra en la figura 1.

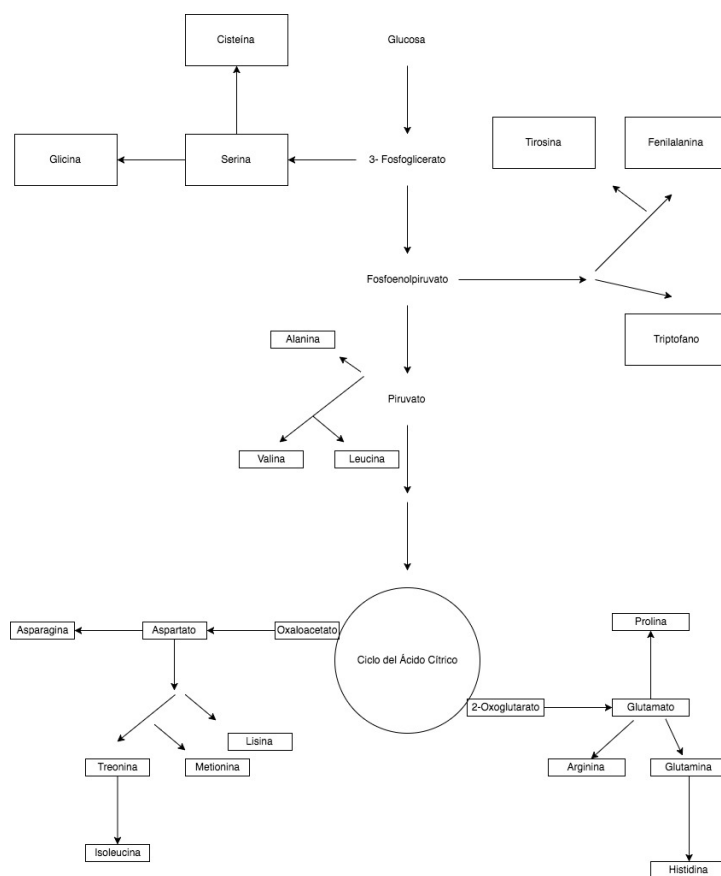


Figura 1. Proceso biosintético para la formación de esqueleto de carbono de los 20 aminoácidos esenciales (Taiz y Zeiger 2010).

Según Schwab (2012) durante décadas se ha sabido que los animales necesitan AA para la síntesis de proteínas tisulares, reguladoras, protectoras y secretoras y que hay cientos de estas proteínas que deben ser sintetizadas todos los días. También está bien documentado que la composición de AA de cada proteína es diferente, que la síntesis de proteínas es un evento genéticamente determinado, y que, como resultado, la composición de aminoácidos de una proteína es la misma cada vez que se sintetiza.

Por ejemplo, la síntesis de proteínas de la leche produce la misma secuencia de AA cada vez que se sintetiza una proteína (McKee y McKee 2014). Esta estructura de la proteína de la leche no se puede alterar cambiando el perfil de AA de la dieta, ya que se requiere el mismo AA cada vez que se sintetiza una molécula de proteína. Sin embargo, la medida en que se sintetiza la proteína puede verse afectada por el suministro del AA necesario requerido para sintetizar la proteína de la leche (Ordway 2005).

El proceso de la biosíntesis de proteínas depende de la colaboración entre distintas moléculas de ácido ribonucleico (ARN), como ARNm (mensajero) y ARNt (de transferencia). Mientras ocurre la codificación del ADN que cifra una proteína, simultáneamente en el citoplasma cada uno de los 20 aminoácidos que constituyen el esqueleto proteico, se unen a su molécula específica de ARNt y además las subunidades del ribosoma, que es el lugar físico donde se sintetizan las proteínas, se vuelven a cargar con factores proteicos auxiliares. La biosíntesis proteica comienza cuando cada uno de estos elementos están dispuestos en el citoplasma celular para obtener un ribosoma funcional. El ARNm ya formado, avanza progresivamente por el ribosoma, donde las secuencias de nucleótidos del ARNm son traducidas por su aminoácido específico anclado al ARNt que lee las bases nitrogenadas en grupos de tres o en tripletes de bases o codones (Albert et al. 1987).

Además de su papel en la síntesis de proteínas, que afecta virtualmente a todos los aspectos del metabolismo en cada célula viva, los AA son también reguladores claves de diversos procesos patológicos y fisiológicos, incluyendo respuestas inmunitarias. Además, son utilizados para la síntesis de todos los otros compuestos nitrogenados que comprende docenas de compuestos tales como hormonas, neurotransmisores, nucleótidos (ARN y ADN), histamina, poliaminas tales como la espermina y la espermidina, entre otros (Schwab 2012).

3.4. Aminoácidos en rumiantes

Vargas y Boschini (2007) indican que para lograr que el animal exprese su habilidad productiva y potencial genético, se hace indispensable centrar atención a la nutrición, enfocada en aportar los elementos necesarios y la cantidad adecuada de nutrimentos de acuerdo a la edad y capacidad de ingestión del animal.

El perfil de AA de la proteína dietética consumida por los rumiantes generalmente tiene poco parecido al perfil AA de la proteína que entra en el duodeno. Esto se debe a que la mayoría de las proteínas dietéticas son fuertemente degradadas por los microorganismos ruminales, habiendo amplias extensiones que pueden verse afectadas de manera diferente por las condiciones dietéticas bajo las cuales se alimentan (Robinson 2010).

Según Chalupa y Sniffen (1996) los microorganismos ruminales no proveen suficiente proteína para la máxima producción láctea. La proteína de la dieta sobrepasa la degradación ruminal y llega al intestino delgado para suplir suficientes cantidades de AA. El conocimiento de los requerimientos de AA es importante para minimizar el desperdicio de la proteína de la dieta y optimizar la productividad.

El balance de dietas a partir de AA tiene la ventaja de ahorrar proteína dietética para vacas lecheras, pero la fracción de proteína liberada es no degradable, este balance proporciona la oportunidad de suplir cantidades similares o mayores de los AA más limitantes con concentraciones similares o más bajas de proteína no degradable.

Debido a que la proteína microbiana proporciona aproximadamente el 50% de los AA absorbidos de las vacas en lactación, hay menor oportunidad de ahorrar proteína no degradable en rumiantes comparado a una proteína dietética total en cerdos o pollos (Schwab 2012).

La absorción de AA provista por la proteína de sobrepaso, el nitrógeno endógeno y la síntesis de proteína microbiana, es esencial para la construcción de tejido y proteína láctea, así como en menor medida, también para la síntesis de otros metabolitos del cuerpo (NRC 2001).

En cuanto a la utilización de AA en rumiantes se ha determinado que las vacas lecheras, en comparación con aves y cerdos, resultan bastante ineficientes en la conversión de nitrógeno (N) a proteína láctea o músculo (apenas 25% del N consumido), mientras que el resto se pierde en orina y heces. Esto significa una pérdida económica significativa para los productores y fuentes críticas de contaminación ambiental. Es por esto que una falta de conocimiento sobre el metabolismo después de la absorción de los AA contribuye a predicciones erróneas en los requerimientos de las vacas lecheras, ocasionando que la estimación de requerimientos de proteína sea demasiado alta en relación a las necesidades de las vacas induciendo una alimentación nitrogenada excesiva (Duque 2015).

Según Correa et al. (2008) el contenido de aminoácidos esenciales (AAE) en pasto kikuyo es menor cuando se compara con el contenido encontrado en la proteína microbiana, lo cual es de gran importancia cuando se pretende establecer AA que pudieran ser limitantes para la producción de proteína en leche, sobre todo, en dietas basadas en forrajes. Se han

identificado metionina, lisina e histidina como los AA más limitantes para las vacas en producción de leche (Schwab 2012).

3.5. Importancia de la lisina, metionina e histidina en bovinos

Una deficiencia de proteína puede darse debido a que uno o más aminoácidos están limitados en la dieta o porque la concentración de proteína en la dieta no es suficiente. Algunos de los síntomas de una deficiencia proteica incluyen una reducida tasa de crecimiento, bajo consumo de alimento, pobre utilización del alimento, bajos pesos al nacimiento a menudo acompañados con alta mortalidad, poca producción de leche y baja fertilidad entre otros (Jurgens 1993, Kellems y Church 1998).

Según Ordway (2005), la cantidad de AA disponible para la síntesis de proteínas de la leche es finita, por lo tanto, un equilibrio o perfil ideal de AAE es necesario para maximizar la síntesis de proteínas de la leche. Tan pronto como la disponibilidad de un aminoácido esencial específico es limitante, la síntesis de proteínas de la leche es limitada.

Lograr un equilibrio adecuado de aminoácidos es crítico y agregar un aminoácido sin abordar la escasez de otros, podría exagerar el desequilibrio del suministro de aminoácidos. Alimentar a las vacas lecheras con dietas que contienen aminoácidos desequilibrados podría reducir la producción de leche y la eficiencia de utilización de nitrógeno (NRC 2001).

La lisina, la metionina y la histidina se han identificado con mayor frecuencia como los aminoácidos más limitantes, realizando investigaciones que utilizan formas de lisina y metionina protegidas en el rumen disponibles para suplementar raciones en ganadería (Schwab y Broderick 2017). Esta limitación de lisina y metionina es el resultado de su baja concentración en la proteína del alimento comparada a la concentración que se encuentra en la proteína láctea y en la proteína microbiana sintetizada ruminalmente (NRC 2001).

La lisina se identificó como el primer AA limitante para terneros recién destetados, ganado en desarrollo y vacas lactantes, cuando los alimentos a base de maíz y derivados de éste proveían la mayoría de proteína en la dieta. En contraste, la metionina se considera limitante en estas etapas cuando la dieta se compone de pequeñas cantidades de maíz, altas cantidades de forrajes o cuando las fuentes de proteína de sobrepaso se componen de productos derivados de la soya o proteínas de origen animal, se sugiere que el óptimo

requerimiento de metionina es aproximadamente un 33% del requerimiento de lisina, en otras palabras, se debe cumplir una relación de 3:1 (NRC 2001, Chen et al. 2011)

La metionina es importante para producir formilmetionina (fMet) cuya función es iniciar la síntesis de proteína. La L-Met es un aminoácido nutricionalmente indispensable que puede ser usado para la síntesis de proteína e incorporado al ciclo de Met (Martin et al. 2013). También produce S-adenosilmetionina, donador de grupos metilo que participan en reacciones para la biosíntesis de lípidos y otros compuestos que están envueltos en el transporte de lípidos hacia el torrente sanguíneo (Patterson y Kung 1988, D' Mello 2003)

La metionina funge como donador de metilos para la producción de fosfatidilcolina, por lo que se considera que los microorganismos ruminales son los primeros suplidores de fosfatidilcolina. Esta es una importante molécula utilizada en el empaque de ácidos grasos dentro de lipoproteínas de baja densidad y quilomicrones. Algunos ácidos grasos de la leche provienen de los quilomicrones y lipoproteína de baja densidad (Yao y Vance 1988).

Osorio (2018) hace un recuento importante sobre la importancia de la metionina en vacas lecheras, en el cual explica que, a nivel molecular, los efectos de Met como precursor del compuesto metilado S-Adenosilmetionina (SAM). Debido a los múltiples procesos biológicos que requieren SAM: transulfuración, biosíntesis de poliamina, metilación de ADN y metilación de histonas, los requerimientos para los donantes de metilo, como la colina y el Met, aumentan al inicio de la lactancia. La metilación de la histona es uno de los mecanismos por los cuales la información genética contenida en el ADN está disponible o no está disponible (es decir, el estado de la cromatina) para la transcripción y traducción en proteínas.

En el contexto de la vaca lechera, Bionaz y Loor (2012) observaron alteraciones marcadas asociadas con el estado de la cromatina (es decir, eucromatina o ADN disponible o heterocromatina o ADN no disponible) en el tejido mamario bovino desde la última preñez hasta la lactancia, lo que indica que la glándula mamaria experimenta cambios sustanciales en la información genética disponible durante el período de transición. En conjunto, es posible que la disponibilidad de Met pueda afectar el estado de la cromatina a nivel molecular a través de la metilación de histonas, ya que Met es la fuente principal de SAM y, a su vez, SAM es el principal donante de metilo para la metilación de histonas.

En experimentos en los cuales a las vacas se les dieron dietas deficientes en aminoácidos y que indujeron movilización de las reservas corporales, la suplementación con aminoácidos fue utilizada para reponer la proteína corporal; y en el caso de histidina, los almacenes corporales de carnosina y hemoglobina. En la deficiencia de histidina, las concentraciones de hemoglobina están reducidas después de períodos prolongados de deficiencia, y los almacenes de carnosina en el músculo están reducidos casi a cero. Ya que la metionina está estrechamente detrás de la histidina como segundo aminoácido limitante, la proteína corporal también necesitará estar movilizando el abastecimiento de metionina para mantener la producción láctea (Yeo et al. 2003).

Tedeschi et al. (2015) realizaron un estudio comparativo entre los diferentes modelos de requerimientos de proteína y aminoácidos para ganadería utilizados a nivel mundial, y ratifican la importancia de que la nutrición animal sea más precisa, dejando de utilizar los modelos antiguos basados en proteína cruda e implementar el uso de modelos basados en los requerimientos de proteína metabolizable y aminoácidos.

Schwab y Broderick (2017) realizaron una revisión importante de artículos y muestran un progreso considerable en la nutrición proteica y de AA en vacas lecheras. Este avance se ha dado ya que, aunque algunos nutricionistas animales aún utilicen la PC para evaluar los alimentos, la industria y la investigación han dado un mayor enfoque en buscar dietas bajas en proteínas, mejorar los modelos de requerimientos de proteínas y AA, aumentar eficiencia de síntesis de proteína microbiana y captura de N reciclado.

En Costa Rica desde el año 1984, se han realizado investigaciones en donde se mide la respuesta en producción y composición láctea ante el suministro de aminoácidos sintéticos inertes al rumen (AAPR) en la forma de metionina (MPR), lisina (LPR), hidroxianálogo de metionina (MHTBA), o aminoácidos libres, ya sean adicionados a la ración, o ajustando la relación Lis:Met de la dieta. Las respuestas obtenidas han sido inconsistentes (Vargas 2014)

En Costa Rica se registran tres investigaciones acerca del uso de aminoácidos de sobrepaso en ganado lechero. Dormond et al. (1990) midieron el efecto de DL-metionina en vacas de doble propósito en pastoreo a diferentes niveles (0, 15 y 30 g/d), encontrando incremento de la producción láctea en 2,5 kg con suplementación de 30 g por animal por día.

Otra investigación realizada por Arroyo (1992) utilizando diferentes dosis (0, 10, 20 y 30 g/ día) de HMTBA, no encontró diferencias significativas en producción de leche, sin embargo, notó una disminución en la producción conforme aumentaba el nivel de metionina, asociada a una disminución en el consumo.

La más reciente investigación realizada por Vargas (2014), al suplementar HMTBA en dos dietas con diferentes concentraciones de proteína cruda, concluyó que en dietas deficientes de metionina basadas en harina de soya y forraje Kikuyo incrementó el aporte del aminoácido como porcentaje de la proteína metabolizable. Esta investigación no observó diferencia significativa en la producción de leche, sin embargo, los contenidos de grasa y proteína láctea si presentaron una tendencia positiva (0,35 y 0,09% respectivamente) manteniendo el nivel estándar de proteína cruda de la dieta (15,8%)

3.6. Consumo de materia seca.

El consumo de materia seca (CMS) es un parámetro de suma importancia en la producción animal ya que determina el estatus nutricional y la capacidad productiva de los animales (Mayes y Dove 2000) y es determinante del valor nutricional de los alimentos (Van Soest 1994, Galyean 1997).

Según el NRC (2001), el CMS establece la cantidad de nutrientes que se encuentran disponibles para el animal. Conocer la composición nutricional de los alimentos que son ofrecidos al ganado es de gran importancia, debido a que funciona como herramienta para formular la dieta adecuada según los requerimientos nutricionales de cada etapa fisiológica de las vacas. La meta de esta práctica es obtener una mejora en el uso eficiente de los nutrientes para prevenir tanto la sub-alimentación, la cual restringe la producción, y la sobre-alimentación; la cual, por su parte, incrementa los costos de alimentación y la excreción de nutrientes al ambiente y, eventualmente, podría ocasionar problemas de salud provocados por efectos tóxicos.

El consumo de materia seca se ve limitado por diversos factores, se destaca principalmente la baja digestibilidad, las condiciones ambientales, el bajo contenido de materia seca del pasto, el alto contenido de fibra detergente neutro (FDN), el bajo contenido de carbohidratos no estructurales (CNE), la baja palatabilidad debido a la presencia de nitratos, bajo contenido de azúcares y el llenado físico del retículo-rumen (Cascante 2018).

Un bajo consumo de materia seca de las pasturas se ha identificado como el factor más limitante en la producción de leche por parte de vacas altas productoras en sistemas de pastoreo (Bargo et al. 2003).

3.7. Estimaciones de consumo de materia seca.

3.7.1. CSM según la concentración de FDN.

La fibra de los forrajes se evalúa como fibra detergente neutro y está compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina (pared celular de los forrajes). Este componente es menos digestible que la proteína, carbohidratos no fibrosos y grasa (contenido celular de los forrajes). El contenido de fibra es importante porque influye en el consumo por parte de los animales, promueve la rumia, evita la acidez ruminal y es fuente de energía (Hernández et al. 2014).

La fibra juega un papel muy importante en la dieta del ganado lechero, debido a que, por medio de la digestión de la misma, se producen los precursores de la grasa láctea. A la vez, el consumo voluntario se ve afectado según la calidad y cantidad de fibra que consuma un animal (Cruz y Sánchez 2000, Marais 2001).

Las raciones del ganado lechero requieren de una cantidad mínima de fibra de composición química y características físicas apropiadas para mantener un consumo de materia seca y energía adecuados, mantener la fermentación ruminal normal, el porcentaje de grasa láctea y contribuir a la prevención de desbalances metabólicos durante el periparto (Van Soest 1994; Ishler et al. 1996).

La fibra en exceso en las dietas reduce la ingestión de materia seca debido al rápido llenado del rumen, asociados a una menor tasa de pasaje, lo que limita la producción de leche (Yang y Beauchemin 2006). Por otro lado, la falta de fibra en la dieta inicia una cascada de eventos que genera una reducción de la relación acetato:propionato (Mertens 2001), terminando en una depresión de la grasa en leche debido a disminución del acetilCo-A y el desvío de nutrientes para engorda por el aumento en el aporte de sustancias gluconeogénicas; especialmente de ácido propiónico. (Granja et al. 2012).

Según Correa (2008b) existe límite para el consumo de materia seca dependiendo de la concentración de FDN en las dietas de vacas lechera. Mertens (1987) tras una serie de estudios y formulas propuso que las vacas lecheras comen una cantidad constante de FDN (aproximadamente 1,2% del peso corporal), y por consiguiente al conocer el peso del animal y la concentración de FDN de la dieta, se podía predecir el consumo voluntario de MS.

La producción de leche está influenciada por el consumo de MS y éste a su vez por la calidad nutritiva del forraje. En el trópico los animales rara vez consumen cantidades de forraje superiores al 2% de su peso vivo, debido a la baja digestibilidad y contenido alto de FDN en los mismos. Para lograr consumos superiores al 2% los forrajes deben contener entre 54 y 60% de FDN; sin embargo, frecuentemente los forrajes utilizados en el trópico poseen concentraciones superiores. Por el contrario, los forrajes de clima templado pueden sustentar consumos altos de MS de buena calidad y producciones hasta de 20 kg de leche por día (Cruz y Sánchez 2000).

3.7.2. CSM según producción de biomasa

La medición de la biomasa disponible en las pasturas brinda información de gran importancia para las fincas ganaderas debido a la relación directa que existe entre el material ofrecido por día a los animales en pastoreo (kg.vaca^{-1}) y su efecto sobre la carga animal (CA), pues a mayor disponibilidad, la CA tiende a disminuir al igual que la eficiencia de los animales en pastoreo (Villalobos et al. 2013).

Jiménez (2003) explica que el balance forrajero consiste en mantener un equilibrio entre la cantidad de biomasa que los animales requieren consumir y la cantidad de biomasa disponible en los pastizales. La producción de forraje varía según la época por efecto del clima, presentando épocas de superávit en la disponibilidad forrajera, por lo que no siempre se logra aprovechar el total del pasto producido.

El control de la disponibilidad forrajera es de suma importancia, ya que permite proveer a los animales de una buena cantidad de forraje de calidad, promueve un mayor consumo y permite la selectividad, lo cual posibilita un mejor contenido de energía, proteína y fibra en la dieta total, lo cual influye en una mayor producción de sólidos lácteos (González 2013).

Bargo et al. (2003), exponen que el máximo consumo de materia seca del pasto se logra cuando la disponibilidad de los forrajes es entre 3-5 veces mayor al estimado de consumo, sin embargo, recomiendan que debido al bajo aprovechamiento y al deterioro en la calidad de la pastura cuando se tiene alta producción de biomasa, se proporcione el doble.

Tras una serie de estudios analizados, Bargo et al. (2003) explican que cuando hay un incremento en la disponibilidad de forraje entre 20-70 Kg MS/animal/día, el aumento en el consumo de materia seca es de 0,19 Kg MS/Kg MS extra de pasto disponible

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Muestreo de los forrajes utilizados

Se analizaron nueve pastos, clasificados en pastos de altura: Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*), Festulolium (*Festulolium loliaceum* (Huds.)), Kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*), Ryegrass (*Lolium perenne*) y pastos de bajura: Braquipará (*B. arrecta* x *B. mutica*), Limpograss (*Hemarthria altissima*), Mombasa (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) Mulato II (*Brachiaria brizantha* cv. *Mulato II*) y Tanner (*Brachiaria arrecta* Hack. ex T. Durand & Schinz)

Las fincas en las cuales se tomaron las muestras de los pastos de altura se encontraban ubicadas a una altitud entre los 1800-2750 msnm, mientras que las muestras de los pastos de bajura fueron obtenidas de fincas ubicadas a una altitud entre 37-68 msnm.

La ubicación y altitud de las fincas donde se muestrearon los forrajes analizados para el presente trabajo son las siguientes:

- Kikuyo y Festulolium (Santa Rosa de Oreamuno, Cartago. 2432 msnm)
- Estrella Africana (La Lima, Cartago. 1800 msnm)
- Ryegrass (San Juan de Chicué, Cartago. 2750 msnm)
- Tanner (Jerusalén, Sarapiquí. 37 msnm).
- Pasto Limpo (La Gata, Sarapiquí. 37 msnm).
- Mulato y Braquipará (Río Frío, Sarapiquí. 68 msnm)
- Mombasa (Finca 4, Sarapiquí. 68 msnm)

Se realizaron 5 muestreos para cada forraje en el período de pre-pastoreo durante el año considerando: época seca, época de transición y época lluviosa. Se utilizó la metodología del Botanal® (Hargraves y Kerr 1978), para estimar la disponibilidad de biomasa de los forrajes (kg materia seca.ha⁻¹) y se cosechó el forraje a diferentes alturas del suelo simulando el pastoreo que harían los animales (5-10 cm para los pastos: Kikuyo, Festulolium, Estrella Africana, Ryegrass, Tanner, Limpograss y Braquipará). Se utilizó un cuadro (PVC) de 0,5 m x 0,5 m, en el que se cosechó con tijera, el forraje que consumirían los animales y que se encontraba dentro del cuadro.

Para los pastos Mombasa y Mulato II la disponibilidad de biomasa se estimó cosechando todo el material disponible en un metro cuadrado medido con cinta métrica y marcado con estacas en tres puntos diferentes del potrero, de manera que fueran lo más representativos posibles. La cosecha se realizó a una altura entre 20-25 cm, simulando el pastoreo.

La edad de cosecha promedio para los pastos fue la siguiente: Ryegrass 34 días, Festulolium: 33 días, Kikuyo: 33 días, Estrella africana: 30 días, Mulato: 22 días, Braquipará: 22 días, Limpograss: 28 días, Tanner: 21 días y Mombasa: 19 días.

En el anexo 1, se muestran los planes de fertilización utilizados en las diferentes fincas donde se realizó la obtención de muestras de los forrajes analizados en el presente trabajo. En promedio en las fincas de altura se utilizó 426 kg de nitrógeno por hectárea por año, mientras que en las fincas de bajura la fertilización nitrogenada promedio por hectárea fue de 230 kg por año.

4.2. Determinación del valor nutricional y del perfil de aminoácidos

Una vez cosechada cada muestra en campo, se procedió a ingresarlas en el Laboratorio de Química del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), para realizar los análisis de materia seca (AOAC 1991), proteína cruda (AOAC 1991), FDN (Van Soest y Robertson 1985) y perfil de aminoácidos (Bartolomeo y Maisano 2006).

4.3. Estimaciones de requerimientos de proteína metabolizable (g/día) y aminoácidos como porcentaje de proteína metabolizable (%PM)

Para las estimaciones de requerimientos de proteína metabolizable (PM) se utilizó el programa del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC 2001), simulando las siguientes características generales de animales:

-Raza Holstein, 500 kg de peso vivo, 200 metros en promedio camino a la sala de ordeño en terreno plano, cuatro viajes al día, 54 meses de edad, 100 días de lactancia, niveles de producción de 12, 15, 20 y 25 kg de leche al día, 3,5% grasa en leche, 3,2% de proteína en leche y 4,8% de lactosa en leche.

-Raza Jersey, 380 kg de peso vivo, 200 metros en promedio camino a la sala de ordeño en terreno plano, cuatro viajes al día, 54 meses de edad, 100 días de lactancia, niveles de producción de 12, 15, 20 y 25 kg de leche al día, 4,0% grasa en leche, 3,6% de proteína en leche y 4,5% de lactosa en leche.

Para los AA en estudio, se estimó los requerimientos para vacas lecheras de lisina y metionina del 7% y 2,5% de la proteína metabolizable respectivamente según NRC (2001). Adicionalmente se consideró requerimientos de histidina del 2,3% según Lapierre et al. (2014).

La composición de lisina, metionina e histidina de cada forraje obtenida, se adicionó en la base de datos del programa NRC (2001), y se estimó la disponibilidad de aminoácidos a nivel duodenal y como porcentaje de proteína metabolizable.

4.4. Estimaciones de consumo de materia seca (CMS)

Se estimó el CMS de dos maneras: de manera teórica utilizando fórmula de Mertens (1987) y mediante la técnica del Botanal®.

4.4.1. Estimación de CMS según la concentración de FDN

En el caso de las estimaciones de CMS se calcularon como porcentaje de peso vivo de los animales, utilizando la fórmula de Mertens (1987):

- $CMS_{\text{como porcentaje del peso vivo}} = 120/\%FDN$

4.4.2. Estimación de CMS según técnica de Botanal®.

La técnica de Botanal® se utilizó para estimar la producción de biomasa de las pasturas en estudio. Esta técnica consistió en seleccionar el potrero en el cual las vacas iban a pastar al día siguiente, hacer un recorrido por el mismo y seleccionar 3 niveles de estrato. Estos niveles van en orden creciente según la producción de biomasa, siendo 1 el sustrato con menor producción, 2 mediana producción y el 3 con la mayor producción de biomasa. Se toma una muestra de cada uno de los sustratos, se pesó en fresco y posteriormente se llevó al laboratorio para determinar el contenido de materia seca a 105°C.

Seguidamente se recorrió el potrero en zigzag, tomando 50 observaciones (del 1 a 3) que fueron apuntadas en una hoja de campo y luego digitadas en una hoja de Excel para hacer el cálculo de producción de biomasa mediante una regresión lineal.

El CMS por parte de los animales se estimó tomando en cuenta la producción de biomasa por hectárea (Kg MS.ha^{-1}) de cada uno de los pastos, con una presión de pastoreo promedio de 80 m^2 para vacas raza Holstein, 60 m^2 para animales de raza Jersey y un porcentaje de aprovechamiento del pasto de un 35% según lo estimado por Villalobos et al (2013).

4.5. Análisis de información.

En el presente trabajo se realizó una estadística descriptiva debido a la poca cantidad de muestras analizadas por pasto, se obtuvieron los valores promedio y desviación estándar del contenido de materia seca, proteína cruda y perfil de aminoácidos (expresado como porcentaje de la MS) de los forrajes en estudio.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Perfil de aminoácidos de forrajes de zona baja y zona alta.

Los resultados promedio obtenidos para 4 pastos de zona alta analizados: porcentaje de materia seca (%MS), porcentaje de proteína cruda (%PC) y perfil de aminoácidos (g.100g MS⁻¹) y la edad promedio de cosecha se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenidos de materia seca, proteína cruda, perfil de aminoácidos (expresados como % de la MS) y edad promedio de cosecha de 4 forrajes de piso de zona alta en fincas comerciales de Costa Rica.

Nutriente (%)	Ryegrass	Kikuyo	Festulolium	Estrella africana
Materia seca	15,15±3,05	15,50±7,10	13,05±2,69	19,03±7,77
Proteína cruda	15,68±1,56	19,41±4,77	20,79±2,63	16,20±1,88
Arginina	0,47±0,06	0,79±0,36	0,94±0,39	0,71±0,60
Histidina	0,23±0,12	0,34±0,18	0,45±0,28	0,62±0,82
Isoleucina	0,63±0,16	0,60±0,43	0,83±0,32	0,55±0,23
Leucina	0,57±0,19	1,68±1,10	1,33±0,56	0,71±0,39
Lisina	0,96±0,47	1,12±0,77	0,85±0,31	0,75±0,35
Metionina	0,41±0,22	0,32±0,37	0,35±0,11	0,26±0,17
Fenilalanina	0,99±0,52	1,04±0,54	1,00±0,45	0,57±0,28
Valina	0,66±0,31	0,59±0,74	1,16±0,68	0,41±0,30
Alanina	0,86±0,43	0,70±0,50	1,43±0,82	0,51±0,28
Ácido aspártico	1,64±0,31	4,28±3,14	2,17±0,69	1,39±0,99
Cisteína	0,26±0,29	0,16±0,08	0,22±0,07	0,34±0,33
Ácido glutámico	1,85±0,83	1,81±1,00	1,68±0,69	1,74±1,01
Glicina	0,53±0,27	0,72±0,41	0,83±0,33	0,39±0,24
Serina	0,52±0,24	0,93±0,61	0,83±0,48	0,66±0,46
Edad de cosecha (días)	34	33	33	30

Existen diferentes especies de pastos C₃ de clima templado como ryegrass, festucas y Phalaris que han sido introducidas en ciertas regiones del trópico donde la altitud, temperatura, irradiación solar y horas luz permiten su adaptación (Villalobos y Sánchez 2010b). Pastos C₄

como kikuyo y estrella africana son utilizados en lechería de zona alta de nuestro país, siendo predominante el kikuyo en pastoreo rotacional (Sánchez 2016).

Según Villalobos (2006) los pastos C₃ mantienen su valor nutritivo durante más tiempo que los C₄, aún bajo condiciones extremas de altas concentraciones de CO₂ tienen niveles más altos de proteína cruda, carbohidratos no estructurales y agua.

Con respecto a los valores de proteína cruda se aprecia que el pasto Ryegrass presenta el porcentaje más bajo entre los pastos de altura evaluados (15,68%), mientras que para el pasto Festulolium se obtuvo el valor más alto (20,79%).

El contenido de proteína cruda para el pasto Ryegrass en el presente estudio es inferior a los reportados por Villalobos y Sánchez (2010b), Martínez y Wing-Ching (2015), que fueron de 25,21 y 23,6%, respectivamente. Estas diferencias en el contenido de proteína cruda de casi 8% entre el pasto analizado en el presente trabajo y la literatura citada probablemente se deban a discrepancias en el plan de fertilización de las fincas.

Para el pasto Festulolium, Sánchez (2017) obtuvo un mayor contenido de proteína cruda (21,6%), mientras que Arce (2016) reporta un valor de 21,10%, ambas referencias son mayores a las obtenidas en el presente estudio.

Con respecto a los contenidos de aminoácidos, Duque Quintero et al. (2017) encontraron valores de lisina y metionina de 0,95 y 0,31% en pasto Kikuyo, mientras que Parra (2000) reporta concentraciones de 0,90 y 0,31% para los aminoácidos anteriormente mencionados, ambos presentan valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo.

En un estudio realizado por Reeves et al. (1996), se reportan valores de lisina y metionina de 0,91 y 0,26% respectivamente para el pasto Kikuyo y de 0,91 y 0,38% para Ryegrass. Los valores reportados de los aminoácidos para ambos pastos son menores a los encontrados en este estudio.

En el caso de la relación lisina:metionina encontrada para los pastos de altura analizados en el presente estudio, el pasto Kikuyo es el único que logra alcanzar el valor

óptimo (3,5:1), seguido por el pasto Estrella Africana (2,88:1), Festulolium (2,4:1) y por último el Ryegrass (2,34:1).

Los resultados promedio obtenidos para 5 pastos de zona baja analizados: porcentaje de materia seca (%MS), porcentaje de proteína cruda (%PC), perfil de aminoácidos (g.100g MS⁻¹) y edad promedio de cosecha se encuentran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenidos de materia seca, proteína cruda, perfil de aminoácidos (expresados como % de la MS) y edad promedio de cosecha de 5 forrajes de piso de zona baja en fincas comerciales de Costa Rica.

Nutriente (%)	Mulato II	BraQUIpará	Tanner	Limpograss	Mombasa
Materia seca	20,48±1,82	14,13±1,04	20,40±5,45	21,74±4,46	14,65±2,28
Proteína cruda	9,16±1,28	14,14±3,29	8,44±3,13	6,40±1,72	15,59±2,01
Arginina	0,40±0,21	0,69±0,16	0,25±0,22	0,29±0,21	0,67±0,19
Histidina	0,13±0,08	0,26±0,04	0,14±0,14	0,29±0,41	0,28±0,03
Isoleucina	0,47±0,24	0,68±0,18	0,32±0,26	0,27±0,23	0,76±0,14
Leucina	0,82±0,22	1,00±0,37	0,77±0,24	0,28±0,19	1,14±0,16
Lisina	0,63±0,09	0,83±0,18	0,54±0,25	0,63±0,22	0,89±0,10
Metionina	0,19±0,05	0,27±0,04	0,20±0,12	0,28±0,24	0,27±0,04
Fenilalanina	0,52±0,25	0,78±0,28	0,56±0,24	0,09±0,07	0,82±0,15
Valina	0,48±0,22	0,92±0,29	0,41±0,28	0,53±0,28	0,99±0,14
Alanina	0,48±0,20	1,15±0,35	0,49±0,25	0,32±0,32	1,19±0,07
Ácido aspártico	1,69±0,24	2,22±0,33	1,35±0,33	1,48±0,26	2,29±0,34
Cisteína	0,07±0,03	0,15±0,05	0,05±0,02	0,06±0,03	0,14±0,03
Ácido glutámico	1,01±0,10	1,56±0,30	0,95±0,18	1,10±0,28	1,66±0,34
Glicina	0,24±0,13	0,62±0,13	0,21±0,18	0,19±0,12	0,71±0,09
Serina	0,21±0,12	0,73±0,14	0,19±0,14	0,25±0,20	0,67±0,19
Edad de cosecha (días)	22	22	21	28	19

Las gramíneas en el trópico son de menor calidad que aquellas utilizadas en las regiones templadas y aunque sus rendimientos en materia seca pueden ser mayores, son deficientes en proteína cruda y relativamente altas en fibra (Close y Menke 1986).

La diferencia en el contenido de proteína cruda de las gramíneas y las pasturas de clima templado puede deberse a la diferencia entre el hábito de crecimiento, morfología y metabolismo carbonatado (Juárez et al. 2007).

En el presente estudio el contenido de proteína cruda de los pastos de altura es en promedio 7,5% mayor que el de los forrajes utilizados en fincas lecheras de bajura. Según Araujo-Febres (2005), una dieta baja en proteína puede ser suplementada con alimento balanceados con altos niveles de proteína cruda, nitrógeno no proteico o leguminosas.

Tanto el rendimiento como la calidad nutricional de los forrajes, se ven afectados por una serie de factores internos y externos. Dentro de los internos se encuentra la especie o cultivar utilizado y la edad fisiológica, entre otros. Con respecto a los externos, se puede mencionar el clima, las características físico-químicas del suelo, la edad de corte, la fertilización y otros factores de manejo (Elizondo 2017).

El pasto Mombasa presentó el mayor porcentaje de proteína cruda (15,59%) entre los forrajes de piso de bajura analizados, a una edad de cosecha de 19 días. Rodríguez (2009) encontró valores de 10% PC a una edad de cosecha de 20 días, mientras que Ortega-Aguirre et al. (2015), reportan un valor de 9,33% PC para el mismo forraje con una edad de cosecha de 30 días, ambos menores a los encontrados en el presente estudio.

Según Enríquez et al. (2015), existe una relación estrecha entre el valor nutritivo y la edad de rebrote; a menor edad de rebrote es mayor la calidad y menor el rendimiento de forraje, y conforme la edad de pasto aumenta, la calidad disminuye y el rendimiento aumenta, lo anterior puede explicar las diferencias en el contenido de proteína cruda del pasto mombasa encontrado en el presente estudio comparado con la literatura citada.

El pasto Limpograss obtuvo la concentración más baja proteína cruda (6,40%), siendo este inferior a los reportados por Villareal (1992) en la misma zona (9,7% y 7,2%). Ambos valores se obtienen a 28 días de cosecha. Segura y Rosales (2008) encontraron un valor de 3,7% mientras que Newman et al. (2014) reportan valor promedio de 4,34% en Florida, Estados Unidos, ambos valores menores a los encontrados en el presente estudio.

Estas diferencias en el contenido de proteína cruda del Limpograss puede deberse a múltiples factores como lo son: altitud, suelo donde crece, condiciones climáticas, fertilización de las pasturas, entre otras. Según Villalobos y Sánchez (2010b), una manera de incrementar los niveles de nitrógeno soluble en la fracción proteica de los forrajes es nuestro país es el uso de aguas de lavado de las salas de ordeño, siendo esta una fuente de fertilización orgánica presente en las lecherías.

El contenido de proteína de obtenido en el presente estudio para los pastos Tanner y Mulato II, se encuentra en el rango expresado por Sánchez (2007) para brachiarias (entre 9-12% PC). Sin embargo, el pasto Braquipará presenta en promedio 5% más de contenido de proteína cruda que los pastos anteriores. Se esperaría que esta superioridad sea reflejada en una mayor producción láctea por parte de los animales (kg leche/animal/día).

Según Sánchez (2007), cuando los animales pastorean brachiarias o guineas y los niveles de producción de leche son superiores a 6-7 kg/animal/día, la proteína cruda comienza a ser limitante, teniendo que acudir a una suplementación energética y proteica (deseable 16-18% de proteína cruda).

Con respecto a los tres aminoácidos en estudio, los pastos Mombasa y Braquipará reportan las mayores concentraciones de lisina (0,89% y 0,83% respectivamente), mientras que el Tanner presenta el menor valor (0,54%).

En el caso de metionina e histidina los valores más altos son reportados para los pastos Mombasa, Braquipará y Limpograss, mientras los pastos Tanner y Mulato II son los que presentan los valores más bajos.

La relación lisina:metionina obtenida para los pastos Mulato II, Mombasa y Braquipará es óptima según el NRC (2001), con relaciones de 3,3:1 para los 2 primeros y 3,1:1 para el Braquipará, mientras que los pastos Tanner y Limpograss no alcanzan la relación recomendada (2,7:1 y 2,2:1 respectivamente).

El estado del nitrógeno de las plantas, y en particular los grupos de aminoácidos, está estrechamente relacionado con la actividad fotosintética. Los aminoácidos mejoran la eficiencia del metabolismo de la planta y entre las principales funciones se encuentran: inducir

aumentos en el rendimiento y mejorar la calidad del cultivo, aumentar la tolerancia de la planta y la recuperación del estrés abiótico, facilitar la asimilación, el desplazamiento y el uso de nutrientes, promover los procesos de respiración de las plantas, la fotosíntesis, la síntesis proteica y fortalecer el crecimiento (Radkowski y Radkowska 2018).

Al comparar el contenido de los tres aminoácidos en estudio de pastos de altura y pastos de bajura, se encontró que, los forrajes de zona alta contienen alrededor de un 35% más de lisina y metionina que los utilizados en lecherías de bajura, mientras que en el caso de la histidina se obtuvo el doble de concentración en los pastos de altura.

Por lo tanto, se puede demostrar que los pastos utilizados en lechería de zona alta en nuestro país poseen, en promedio, mayor contenido de proteína cruda y mayor concentración de los tres aminoácidos esenciales en estudio, por lo que se esperaría que los animales de zona alta tengan mayor producción láctea que los de zona baja.

5.2. Requerimientos de proteína metabolizable de vacas lecheras en producción

Las necesidades de proteína de los animales se expresan en unidades de proteína metabolizable (PM) y se define como la proteína verdadera que es digerida post-ruminalmente y los aminoácidos absorbidos en el intestino. La proteína microbiana sintetizada en el rumen, la proteína del alimento no degradada en el rumen y la proteína endógena, contribuyen al paso de proteína metabolizable al intestino delgado (Elizondo 2008 y NRC 2001).

Los requerimientos de proteína varían dramáticamente entre edades y especies. Los animales requieren proteína para mantenimiento y producción (preñez, crecimiento y lactación). Además, los microorganismos presentes en el rumen requieren también N para su crecimiento (Elizondo 2008).

Heinrichs et al. (2005), explican que los contenidos de proteína y grasa en leche de animales de raza Holstein son generalmente menores a los contenidos en la leche producida por animales de raza Jersey, por lo que los requerimientos de proteína metabolizable son mayores en animales de esta raza.

En el cuadro 4 se muestran los requerimientos de proteína metabolizable (g/día) para vacas de la raza Holstein y Jersey de acuerdo a diferentes niveles de producción láctea según las simulaciones realizadas con el programa NRC (2001), donde se demuestra que los requerimientos son mayores en ganado de raza Jersey al mismo nivel de producción, pero con mayor nivel de proteína en leche.

Los datos utilizados para la simulación fueron:

-Raza Holstein, 500 kg de peso vivo, 200 metros en promedio camino a la sala de ordeño en terreno plano, cuatro viajes al día, 54 meses de edad, 100 días de lactancia, composición láctea: 3,5% grasa, 3,2% de proteína y 4,8% de lactosa.

-Raza Jersey, 380 kg de peso vivo, 200 metros en promedio camino a la sala de ordeño en terreno plano, cuatro viajes al día, 54 meses de edad, 100 días de lactancia, composición láctea: 4,0% grasa, 3,6% de proteína y 4,5% de lactosa.

Cuadro 4. Requerimientos de proteína metabolizable (g/día) para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.

Raza	Producción de leche diaria (kg)			
	12	15	20	25
Holstein	994	1128	1352	1579
Jersey	1087	1249	1517	1786

Según Ordway (2005), para las dietas de vacas lecheras es imperativo que las concentraciones ideales de Lys y Met en la proteína metabolizable se determinen de modo que las dietas puedan formularse para alcanzar estas concentraciones y así maximizar la síntesis de proteínas a través de un uso más eficiente de la proteína metabolizable, al tiempo que se minimiza la cantidad de proteína en la dieta.

El NRC (2001) establece los requerimientos de lisina y metionina como 7 y 2,5% de la proteína metabolizable. Los cuadros 5 y 6 muestran los requerimientos de dichos aminoácidos para animales de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción láctea.

Cuadro 5. Requerimientos de lisina (g/día) estimados como porcentaje de proteína metabolizable para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.

Raza	Producción de leche diaria (kg)			
	12	15	20	25
Holstein	69,58	78,96	94,65	110,53
Jersey	76,09	87,43	106,19	125,02

Cuadro 6. Requerimientos de metionina (g/día) expresados como porcentaje de proteína metabolizable para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.

Raza	Producción de leche diaria (kg)			
	12	15	20	25
Holstein	24,85	28,20	33,80	39,48
Jersey	27,18	31,23	37,93	44,65

Lapierre et al. (2014) mencionan diferentes valores para el requerimiento de histidina como porcentaje de la PM; sin embargo, para el presente estudio se estima un valor promedio de 2,3% de la PM, los requerimientos de este aminoácido para animales de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción láctea se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Requerimientos de histidina (g/día) expresados como porcentaje de proteína metabolizable para vacas de raza Holstein y Jersey a diferentes niveles de producción diaria láctea.

Raza	Producción de leche diaria (kg)			
	12	15	20	25
Holstein	22,86	25,94	31,10	36,32
Jersey	25,00	28,73	34,89	41,08

La predicción del consumo de MS es importante para asegurar que los nutrientes necesarios para la producción de leche estén presentes en una cantidad determinada de alimento que la vaca pueda consumir por día. Un programa de alimentación óptimo consiste en una ración equilibrada que permita un consumo máximo de alimento (Cruz y Sánchez 2000).

Por lo tanto, en el siguiente apartado se presentan los resultados de las estimaciones de consumo de materia seca por parte de los animales, y seguidamente el aporte de los 3 aminoácidos en estudio sobre los requerimientos de los animales anteriormente mencionados.

5.3. Estimaciones de consumo de materia seca (CMS).

Según De Oliveira et al. (2017), el consumo de los alimentos por parte de los bovinos está regulado por tres factores: el físico, que está asociado a la capacidad de distensión del rumen-retículo en función del contenido de fibra detergente neutra de la ración; el fisiológico, que está regulado por el balance nutricional de la dieta, específicamente relacionado al mantenimiento del equilibrio energético; y la regulación psicogénica, relacionada a la respuesta del animal a factores inhibidores o estimuladores del alimento o en el manejo alimenticio.

Araujo-Febres (2005) hace un recuento de factores neuro-hormonales que afectan el consumo voluntario de los animales, entre los cuales destacan hormonas como la leptina, la insulina, la adrenocorticotrópica, las hormonas esteroideas, entre otras. La leptina es producida por las células adiposas mientras que los receptores de insulina son encontrados en áreas del cerebro de suma importancia para el control del consumo, especialmente al corto plazo.

En los sistemas de pastoreo se busca estimular el consumo de MS proveniente del pasto, pues así se asegura que el rumen tenga una condición adecuada para favorecer los procesos de fermentación, sin embargo, el contenido de FDN del pasto debe tener una calidad adecuada de tal forma que el llenado físico sea lento para no comprometer el consumo (Aikman et al. 2008).

Existe un límite para el CMS el cual es dependiente de la concentración de FDN en las dietas de las vacas lecheras. Contenidos altos de FDN pues el llenado físico limita el consumo y a nivel ruminal debe invertirse más energía en degradar la pared celular para liberar sus componentes intracelulares (Correa et al 2008b y Firkins 2005).

Son muchos los tipos de ecuaciones que se han desarrollado para predecir el consumo de alimento. Las ecuaciones basadas en los contenidos de FDN son las más utilizadas, estas ecuaciones además incluyen variables como el peso del animal y sus fluctuaciones, producción de leche corregida, porcentaje de proteína en la leche, contenido de grasa en la dieta, temperatura ambiental y fase de producción, entre otros. Este tipo de ecuaciones deben ser lo más precisas posibles, ya que si se subestima el consumo de alimento, las raciones se formularán con excesos de nutrimentos y costos elevados. Por el contrario, si se sobreestima el consumo, las raciones van a ser deficientes en nutrimentos, resultando en una reducción en la producción de los animales e importantes pérdidas económicas (Cruz y Sánchez 2000)

En el presente trabajo se utilizaron las dos maneras para estimar el CMS expuestas en la metodología, las cuales muestran diferencias importantes entre ellas, cada una presenta sus limitaciones respectivas, por lo que las diferencias en el potencial productivo de los forrajes obedecen en gran parte a los resultados obtenidos (Cuadro 8).

Las principales limitaciones para la estimación de consumo de materia seca según técnica de Botanal® son: 1. Hargreaves y Kerr (1987), diseñaron el método para estimación de disponibilidad forrajera y no para estimación de CMS, 2: el área destinada por animal/día puede ser variable según factores como: la disponibilidad forrajera, el peso y raza de los animales, topografía, factores de ambiente entre otros y 3: el aprovechamiento de las pasturas se ha reportado entre 19% (Andrade 2006) y hasta más de un 67% (Cascante 2018), por lo que es un dato sumamente variable según los estudios anteriormente mencionados.

En el caso de la estimación de CMS con base en el contenido de FDN de los forrajes es una fórmula teórica que no toma en cuenta factores limitantes como: digestibilidad y degradabilidad de la FDN, y aunque la FDN tiene ventajas teóricas en la estimación del consumo voluntario, se puede afirmar que un solo análisis químico no puede proveer toda la información necesaria para estimar un parámetro tan complejo como es éste, por lo tanto puede ser mejorado por la adición de otros análisis químicos, físicos y biocinéticos de los alimentos (Cruz y Sánchez 2000).

El contenido de FDN se asocia negativamente con el consumo de materia seca (CMS) debido a que esta fracción está correlacionada con la densidad del forraje y el llenado del

rumen, así un mayor contenido de FDN implica un menor CMS (Correa et al 2008b y Firkins 2005),

Lo anterior se comprueba con la información presentada en el cuadro 8, donde se muestra que el pasto Ryegrass obtuvo la menor concentración de FDN (44,94%) y a su vez estima los mayores consumos de materia seca para los animales en estudio, lo contrario pasa con el pasto Limpograss que reporta el mayor porcentaje de FDN (73,14%) y a su vez la menor estimación de consumo de materia seca por parte de los animales.

En el caso del contenido de FDN para el pasto Ryegrass, Villalobos y Sánchez (2010b) reportan valor de 46,26%, siendo este superior al encontrado en la presente investigación. Esta superioridad en el contenido de FDN mostrada por los autores, se puede deber a una mayor edad de cosecha (60 días).

Martinez y Wing-Ching (2015) encontraron valor de 43,5% FDN para el Ryegrass, mientras que Arce (2016) reporta 42,13%, ambos menores al encontrado en el presente estudio. Por lo que se podría esperar mayores consumos de materia seca con los datos obtenidos en el presente trabajo.

El contenido de FDN obtenido para el pasto Kikuyo es menor al reportado por Sánchez (2008), el autor menciona valor entre 58-65% FDN, mientras que Cascante (2018) reporta un valor promedio de 52% FDN, por lo que se puede concluir que el dato obtenido en el presente trabajo se encuentra dentro del rango reportado por el autor mencionados anteriormente.

La concentración de FDN obtenida para el pasto estrella africana en el presente estudio (60,48%) fue menor al reportado por diferentes autores, (Arce 2016, Villalobos y Arce 2013, Sánchez 2008, Salazar 2007, Sánchez y Soto 1999), con valores entre 64,21 y 73%. Por lo que se esperaría un mayor potencial de consumo de materia seca del forraje analizado en la presente investigación

Para el pasto Festulolium, Sánchez (2017) reporta concentraciones promedio de FDN de 48,8% a edad de 42 días a dos alturas diferente, sin embargo, en la zona donde se realizó el presente estudio obtuvo un 49,3%, siendo ambos superiores, pero a mayor edad de cosecha, Arce (2016) a una edad de cosecha de 30 días expresa un valor de 47,80% FDN,

siendo este superior al encontrado en el presente estudio, pero a menor cantidad de días de cosecha. Según los valores obtenidos se supondría un mayor consumo de materia seca por parte de los animales pastoreando el forraje analizado en el presente estudio.

Las condiciones ambientales en las que crecen los forrajes de climas tropicales y la selección genética a la cual fueron sometidos para lograr una mayor producción de biomasa, hacen que estos tengan cantidades mayores de pared celular, la cual a su vez se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS (Sánchez 2007).

Arce (2006) y Martínez y Wing-Ching (2015), reportan valores de FDN de 61,8 y 61,7% respectivamente, para el pasto Braquipará, ambos son menores a las concentraciones encontradas en el presente estudio. Los mismos autores reportan contenido de FDN para el pasto Mulato II de 64,87 y 62,5% respectivamente, también menores a los obtenidos en este documento. Balseca et al. (2015) reportan para Mulato II una concentración de FDN de 70,6% a 42 días de cosecha, siendo este mayor al del presente trabajo.

Para el pasto Tanner, De Tonissi et al. (2003), reportan una concentración de 72,3% de FDN, mientras que Perozo (2007), obtuvo un valor de 66,94% ambos estudios se realizaron a 28 días de cosecha. La concentración de FDN obtenida en el presente trabajo es menor a la reportada en las investigaciones mencionadas. Sin embargo, dicho valor es superior al encontrado por Edwards et al. (2012).

En el caso del pasto Mombasa Patiño et al (2018) reportan un valor de 72,6% de FDN a una edad de cosecha de 25 días, el cual es superior al encontrado en la presente investigación a 19 días, mientras que Arce (2016) a la misma edad de cosecha encontró 66,60% de FDN, siendo este menor al reportado en el presente estudio.

El contenido de FDN reportado en el presente trabajo para el pasto Limpograss, se encuentra dentro del rango obtenido por diferentes autores (Arce 2016, Bernardis et al. 2002, y Peña et al. 1982) dicho rango comprendió entre 63,67 y 77,85%.

Cuadro 8. Consumos de materia seca (kg MS) de vacas lecheras de razas Holstein y Jersey, estimado según la concentración de FDN y producción de biomasa de 9 pastos de piso utilizados en ganadería en Costa Rica.

Pasto	FDN, %	CT ¹ Jersey (kg MS)	CT ¹ Holstein (kg MS)	Producción biomasa (kg MS/ha/ciclo)	CSB ² Jersey (kg MS) ³	CSB ² Holstein (kg MS) ³	CSB ² Jersey (kg MS) ⁴	CSB ² Holstein (kg MS) ⁴
Ryegrass	44,94	10,15	13,35	2536,00	5,32	7,10	7,61	10,14
Festulolium	45,54	10,01	13,18	1908,17	4,00	5,34	5,72	7,63
Kikuyo	55,54	8,21	10,80	2716,53	5,70	7,61	8,15	10,86
Estrella	60,48	7,54	9,92	5417,50	11,37	15,17	16,25	21,67
Tanner	64,06	7,12	9,37	2972,71	6,24	8,32	8,92	11,89
Braquipará	65,38	6,97	9,18	2119,08	4,45	5,93	6,36	8,48
Mulato	66,32	6,88	9,05	5251,92	11,23	14,99	16,06	21,41
Mombasa	67,70	6,74	8,86	2918,83	6,13	8,17	8,76	11,67
Limpograss	73,14	6,23	8,20	3965,02	8,32	11,10	8,92	11,89

¹consumo teórico

²consumo según botana@l

²35% aprovechamiento, ³50% aprovechamiento

Según Sánchez (2007) la producción de biomasa de los pastos puede verse afectada por una serie de factores entre los cuales se cita: especie de planta o accesión de la misma, fertilidad del suelo, temperatura ambiente, irradiación solar, disponibilidad de agua y manejo de la planta (edad, estado vegetativo, frecuencia e identidad de cosecha, nivel y clase de fertilizante utilizado, control de maleza, plagas y enfermedades).

En el presente estudio se utilizó un aprovechamiento de 35% según lo obtenido por Villalobos et al. (2013) y un 50% según Cascante (2018), para la estimación del consumo de materia seca de los animales simulando el pastoreo de la biomasa de los forrajes obtenida mediante la técnica de Botanal®.

En el caso de la estimación de consumo según técnica del Botanal®, la mayor producción de biomasa es presentada por el pasto Estrella Africana en el presente estudio (5,4 t MS/ha/ciclo), siendo este superior al reportado por diferentes autores (Villalobos et al. 2013, Villalobos y Arce 2013, Salazar 2007).

Por lo tanto, se esperaría un mayor consumo por de materia seca por parte de los animales alimentados con el pasto estrella africana del presente estudio (3% PV), sin embargo, este valor encontrado, debido a las condiciones anatómicas de los animales y a factores de llenado físico del rumen, se puede decir que es un subestimado.

Para el pasto Ryegrass Villalobos y Sánchez (2010), encontraron valores promedio de 4,1 t MS/ha/ciclo, mientras que Villalobos et al. (2013) reportan valor de 3,3 t MS/ha/ciclo, ambos valores son superiores al encontrado en el presente estudio.

La producción de materia seca obtenida para el pasto Kikuyo en el presente estudio es similar al encontrado por Cascante (2018), y se encuentra dentro de un rango reportado por diferentes autores (Villalobos et al. 2013, Sánchez e Hidalgo 2009, Andrade 2006) con valores entre 1,2 y 3,53 toneladas de MS/ha/ciclo.

Esta variabilidad mencionada para la producción de materia seca del pasto Kikuyo, puede deberse a diversos factores en el momento de los estudios, como fue mencionado con anterioridad

Sánchez (2017) reporta para el pasto Festulolium una producción de 2,2 t MS/ha/ciclo a 42 días de rotación, mientras que Campos-Granados y Rojas-Bourillón (2015), en promedio obtuvieron 2,9 t MS/ha/ciclo a edad de cosecha entre 30-35, ambos valores superiores al encontrado en el presente estudio.

Es importante mencionar que la estimación de CMS según técnica de Botanal® sobre estima los consumos esperados, ya que, como se mencionó anteriormente, son muchos los factores que afectan esta estimación, y en el cuadro 8 se muestra que cuando se aumenta un aprovechamiento de pasturas a un 50%, el dato de CMS es sumamente elevado, para la siguiente sección se sigue trabajando con los datos de aprovechamiento de 35%.

5.4. Aportes de lisina, metionina e histidina sobre los requerimientos nutricionales de vacas lecheras a diferentes niveles productivos.

5.4.1. Aportes sobre los requerimientos de vacas Jersey.

Los aportes de los aminoácidos por parte de los nueve pastos sobre los requerimientos de los animales, estimados según las dos diferentes técnicas de consumo potencial de los mismos son mostrados en los Anexos (2 al 8). Donde se muestra los aportes de cada aminoácido por parte de los 9 pastos (g/día) y su aporte porcentual sobre los requerimientos diarios de las 2 razas a los diferentes niveles productivos.

A continuación, se presentan los potenciales productivos de los pastos con base en los aportes sobre los requerimientos de los tres aminoácidos en estudio, tomando en cuenta las 2 estimaciones. En la figura 2 se muestra el potencial productivo para animales raza Jersey en base a los aportes de lisina según las dos técnicas de consumo de materia seca.

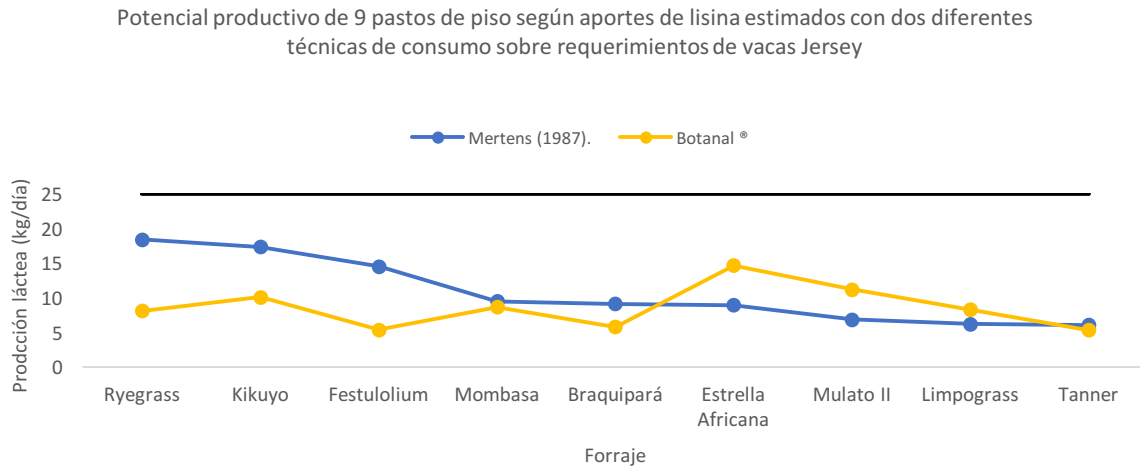


Figura 2. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de lisina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.

Según la figura 2, ninguno de los pastos cuenta con el potencial productivo para que animales Jersey produzcan más de 20 kg de leche al día con base en los aportes de lisina según estimación de consumo basada en el porcentaje de FDN, siendo el pasto Ryegrass el que mayor potencial muestra, lo cual se debe a una mayor estimación de CMS por su baja concentración de FDN (44,94), siendo este el valor más bajo reportado para los nueve forrajes en estudio.

Contrario a lo anterior, el menor potencial productivo es mostrado por el pasto Tanner que, a pesar de ser de los pastos de bajura el que presenta menor contenido de FDN y por lo tanto un mayor consumo de materia seca, es el que presenta el menor contenido de lisina (0,54%).

Con respecto a la estimación de CMS según técnica de Botanal® los mayores aportes de lisina y a su vez, el mayor potencial de producción es reportado para el pasto Estrella Africana, el cual presentó la mayor estimación de biomasa, siendo esta muy superior a la de los demás pastos, excepto a la del Mulato I

A pesar de la similitud en la producción de biomasa mostrada por los pastos mencionados anteriormente y la diferencia en el CMS de 0,150 kg de materia seca/animal/día, el pasto estrella africana muestra un potencial de producción mayor de 3 kg leche/vaca/día,

esta diferencia productiva se puede deber al mayor contenido de lisina reportado para el pasto estrella africana.

Los menores aportes sobre los requerimientos de lisina y menor potencial de producción en base al CMS según técnica de Botanal® son reportados para los pastos Tanner, Braquipará y Festulolium; a pesar de que los 2 últimos mencionados anteriormente presentan un mayor contenido de lisina que el Tanner (20% más) este reporta mayor producción de biomasa y por consiguiente, un mayor consumo de materia seca.

El pasto Tanner analizado en este trabajo presenta una superioridad en la producción de biomasa con respecto a forrajes como Kikuyo, Ryegrass y Mombasa, pero, debido al mayor contenido de lisina de estos tres pastos, reportan entre 2,8 y 3,0 kg más de potencial de producción láctea por vaca/día.

Es importante recalcar diferencias en el potencial de producción de hasta 10 kg/animal/día en base los aportes de lisina, en pastos como Ryegrass y Festulolium, debido a que el consumo de materia seca es superior cuando se estima tomando en cuenta contenido de FDN de los forrajes (4,8-6 kg MS/animal/día respectivamente)

Lo contrario ocurre en pastos como Tanner y Mombasa, los cuales muestran poca diferencia en potencial productivo menores a 1,0 kg/animal/día, y en consumos de materia seca (0,9 y 0,6 kg MS/animal/día respectivamente).

De acuerdo con la figura 3, los aportes de metionina al igual que ocurre en el caso de lisina, son presentados en mayor proporción por el pasto Ryegrass, el mismo reporta el mayor potencial de producción (23,44 kg/animal/día), tanto porque posee la menor concentración de FDN (mayor CMS), así como, el más alto contenido de metionina de los 9 forrajes en estudio (0,41%).

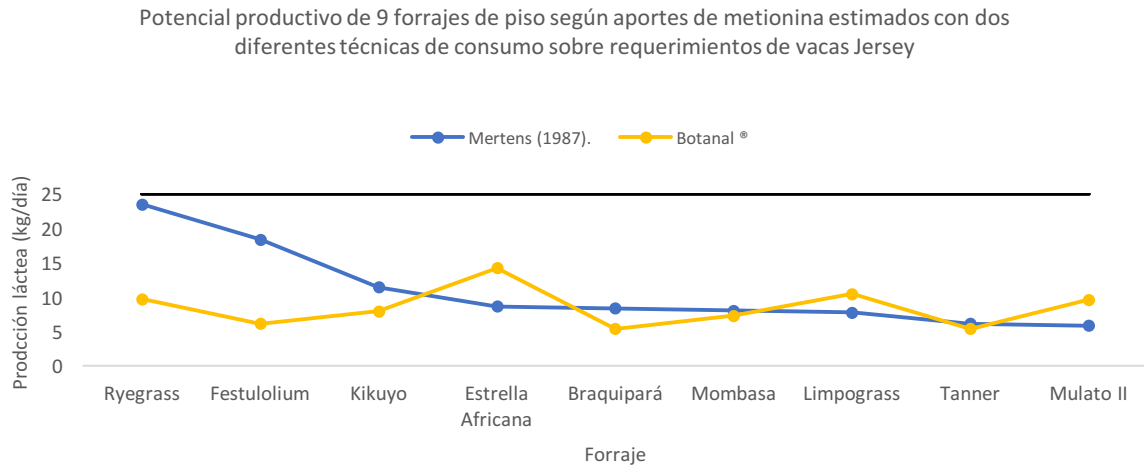


Figura 3. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de metionina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.

Lo contrario sucede con los pastos Mulato II y Tanner, con potenciales productivos menores (5,85 y 6,19 kg/animal/día respectivamente), debido principalmente a los bajos contenido de metionina reportados en el cuadro 2 (0,19 y 0,20% respectivamente).

A pesar de que los pastos mencionados anteriormente presentan mayores estimaciones de CMS según la concentración de FDN comparado con el pasto Limpograss (0,650 y 0,890kg MS/animal/día), este muestra una superioridad promedio en el potencial productivo de 1,77 kg leche/animal/día para vacas Jersey.

Según la estimación de consumo utilizando la técnica de Botanal® el pasto Estrella Africana es el que reporta los mayores aportes sobre los requerimientos de vacas Jersey, estimándose un potencial de producción de 14,21 kg kg/animal/día, como se muestra en la figura 3. Esta superioridad es explicada al igual que en el caso de la lisina por su alta producción de biomasa. Con respecto a la diferencia de potencial de producción con respecto al Mulato II es de aproximadamente 4,6 kg/animal/día más, con el mismo CMS mencionado anteriormente.

Los pastos Tanner y Braquipará reportan el menor potencial productivo (5,40 kg/animal/día para ambos) según la misma estimación de consumo del párrafo anterior, a pesar de que se estima un CMS alrededor de 1,80 kg MS/animal/día más para el pasto Tanner.

La similitud en el aporte sobre los requerimientos de metionina y a su vez su potencial productivo es explicado por un mayor contenido de este aminoácido en el Tanner. (35% más).

Según Giallongo et al. (2016), la suplementación de dietas para ganadería, especialmente bajas en proteína con aminoácidos específicos, es una estrategia prometedora para contrarrestar el potencial efecto negativo de la deficiencia general de proteína metabolizable en la producción de vacas lecheras.

Diversos estudios durante muchos años, han demostrado el efecto de la inclusión de aminoácidos inertes en el rumen (AARP), especialmente metionina (MRP) y lisina (LRP), en la alimentación de vacas Jersey. En la investigación realizada por Karunanandaa et al. (1994), utilizando aminoácidos inertes en rumen (8 g/d de metionina y 24 g/d de lisina), obtuvieron un mayor contenido de lisina, metionina y nitrógeno ureico en sangre, sin embargo, no se incrementó el contenido de proteína láctea. Al adicionarse los aminoácidos inertes en rumen en conjunto con una fuente de grasa, se obtuvo un aumento en ácidos grasos no esterificados en sangre.

Por otra parte, Bertrand et al. (1998), al evaluar el uso de aminoácidos inertes en el rumen (10 g/d de metionina y 10 g/d de lisina), en dietas suplementadas con semilla de algodón para vacas Jersey. Estos autores demostraron que la adición de AARP a la dieta basada en semilla de algodón, aumentó el contenido de proteína en leche. De igual manera encontraron un aumento en la concentración de metionina en sangre, sin embargo, no de lisina, sugirieron la lisina como el aminoácido limitante.

Con respecto a los requerimientos de histidina de vacas Jersey, se muestra en la figura 4 que en general los pastos realizan mayores aportes con respecto a los otros dos aminoácidos en estudio, expresando un potencial de producción máximo (25 kg/animal/día) por parte de los pastos Festulolium y Estrella Africana utilizando la estimación de consumo con base en el contenido de FDN. Estos pastos presentan los mayores contenidos de histidina (cuadro 1), lo cual justifica que a pesar de que para el pasto Estrella Africana se estime un CMS inferior a un pasto como el Ryegrass (2,5 kg MS/animal/día) el potencial productivo sea mayor (aproximadamente 10 kg/animal/día).

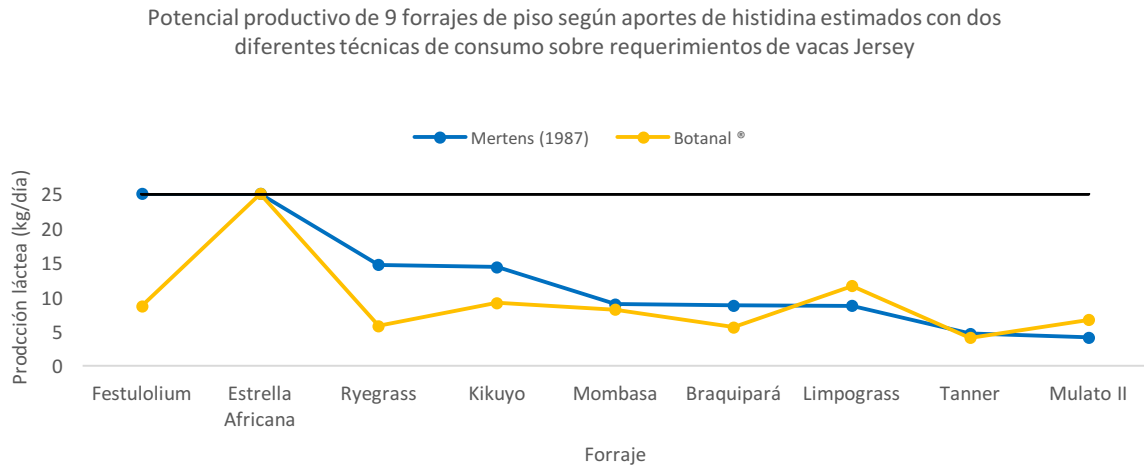


Figura 4. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de histidina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Jersey.

Los pastos Tanner y Mulato presentan los menores aportes de histidina para los animales en producción y su potencial productivo es realmente bajo (4,7 y 4,15 kg/animal/día respectivamente), lo anterior debido a que presentan los menores contenidos de este aminoácido (0,13 y 0,14%). Ambos presentan mayores CMS comparados con pastos como Mombasa y Limpograss, pero las diferencias de potencial son alrededor de 4 kg/animal/día, siendo este potencial mayor para los últimos forrajes mencionados.

Los mayores aportes de histidina estimados según la técnica de consumo utilizando el Botanal® son dados por los forrajes Estrella Africana y Limpograss, obteniéndose para el primero un potencial productivo máximo y una diferencia de alrededor de 14,4 kg/animal/día con respecto al segundo. Estos aportes del Estrella son explicados por su alta producción de biomasa y su alto contenido de histidina. En el caso del Limpograss se debe a su alta producción de biomasa y mayor CMS (cuadro 8) por parte de los animales, ya que a pesar de que su contenido de histidina es menor al de pastos como Festulolium y Kikuyo (cuadro 1) su potencial es mayor (alrededor de 3 y 6 kg/animal/día respectivamente).

Tanner, Braquipará y Ryegrass presentan los menores aportes de histidina como se muestra en la figura 4, y por lo tanto un menor potencial productivo para las vacas Jersey. Los pastos Ryegrass y Braquipará son los que presentan menor producción de biomasa solo por encima del pasto Festulolium, pero sus contenidos de histidina son menores, lo que hace que

ambos pastos presenten un potencial de producción en promedio menor de 3 kg/animal/día con respecto al Festulolium.

5.4.2. Aportes sobre los requerimientos de vacas Holstein.

En la figura 5 se presenta la información obtenida sobre los potenciales de producción para vacas Holstein según los aportes de los 3 aminoácidos en estudio por parte de los 9 forrajes. Como se muestra en los cuadros 4, 5 y 6 los requerimientos para animales de raza Holstein son menores en comparación a los de las vacas Jersey con el mismo nivel productivo.

Lo anterior es explicado por Saborío (2011), el cual menciona que la producción de sólidos en la leche, varía entre razas de vacas lecheras, la raza Jersey es reconocida por producir mayor porcentaje de sólidos totales, lo que a su vez significa un mayor requerimiento de nutrientes para suplir sus necesidades.

En el cuadro 8 se visualiza un mayor consumo de materia seca por parte de los animales Holstein comparado con el obtenido para vacas de raza Jersey, lo cual es expuesto por Cruz y Sánchez (2000), los cuales reportan que en general, las vacas de alta producción y de mayor peso requieren de consumos mayores de alimento para poder mantener su producción.

Al aumentar el peso vivo de los animales en la fórmula utilizada para estimar el consumo de materia seca según el contenido de FDN de los pastos, los animales de raza Holstein consumirían en promedio 2,450 kg MS/animal/día más que los Jersey, mientras que utilizando la técnica de Botanal® se estima en promedio un consumo superior de 2,33 kg MS/animal/día (aumento de 20 m² de pastoreo/animal/día)

Según la siguiente figura los mayores aportes de lisina son obtenidos por 3 forrajes utilizados en lechería de zona alta (Kikuyo, Ryegrass y Festulolium) según estimación de consumo teórica, con los cuales los animales alcanzarían el máximo nivel de producción estimado en el presente trabajo (25 kg/animal/día).

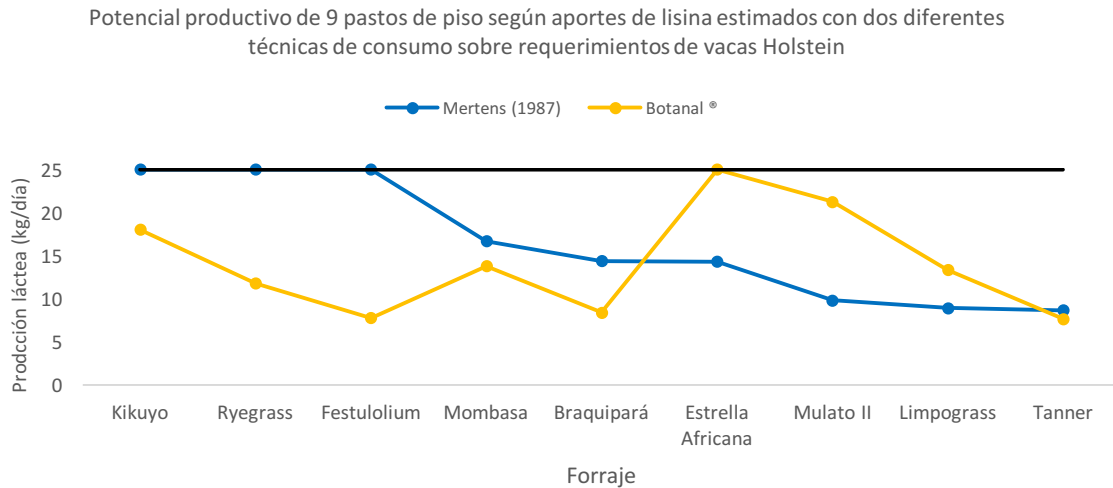


Figura 5. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de lisina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein

A pesar de que el Festulolium presenta un contenido de lisina similar al pasto Braquipará e inferior al del Mombasa en el cuadro, su bajo contenido de FDN hace que la estimación de consumo de materia seca sea mayor comparado con los pastos mencionados (4 y 4,32 kg MS/animal/día), lo cual se ve reflejado en una superioridad de potencial productivo de 10,62 y 8,33 kg/animal/día respectivamente.

Los menores aportes sobre los requerimientos de lisina estimados de manera teórica para vacas Holstein son reportados por los forrajes Tanner y Limpograss, con potenciales de producción láctea de 8,68 y 8,91kg/animal/día respectivamente. La estimación de CMS del pasto Tanner es superior a la de todos los pastos de bajura, sin embargo, su bajo contenido de lisina hace que su potencial productivo sea el menor.

Un ejemplo de lo anterior es compararlo con el pasto Braquipará, a pesar de que la diferencia de consumo es de menos de 0,200 kg MS/animal/día, el Braquipará presenta un potencial de producción láctea mayor (14,38 vs 8,68 kg/animal/día), y un contenido de lisina aproximadamente 30% mayor.

El pasto Estrella Africana es el único que aporta la totalidad de los requerimientos de lisina para vacas Holstein con estimación de consumo según técnica de Botana®, mostrando un potencial productivo máximo. Estos aportes son obtenidos por su alta producción de

biomasa y mayor CMS por parte de los animales. Aunque la diferencia de CMS con el pasto Mulato II es de menos de 0,200 kg MS/animal/día, el potencial productivo del pasto Estrella es superior por 3,75 kg/animal/día.

Al igual que sucede con los requerimientos de vacas Jersey y los potenciales productivos en base a los aportes de lisina por parte de los pastos según la estimación de consumo vía forraje, los pastos: Tanner, Braquipará y Festulolium son los que reportan los menores aportes. A pesar de que el Tanner reporta un potencial de consumo superior a pastos como Kikuyo, Ryegrass y Mombasa (1,22, 0,77 y 0,15 kg MS/animal/día), el potencial de producción láctea es inferior en 10,32, 4,11 y 6,12 kg animal/día respectivamente.

Las mayores diferencias en potencial de producción láctea al comparar las 2 estimaciones de CMS y los aportes sobre los requerimientos de lisina en vacas Holstein son: Festulolium y Ryegrass: 17,21 y 13,21 kg más por animal/día según consumo teórico, mientras por consumo según Botanal® se obtuvo para los pastos Mulato II y Estrella Africana (11,42 y 10,7 kg/animal/día). Mientras que las menores diferencias son reportadas por el pasto Tanner (1 kg/animal/día) según estimación teórica y el Limpograss (4,4 kg/animal/día) según estimación vía forraje.

Con respecto a los aportes sobre los requerimientos de metionina de las vacas Holstein a diferentes niveles productivos, se muestra en la figura 6 un aporte total para lograr un máximo potencial de producción láctea por parte de los forrajes Ryegrass y Festulolium según la estimación de CMS basada en el contenido de FDN. Para ambos pastos se estima el mayor consumo por su bajo %FDN y se reportan los mayores contenidos de metionina (0,41 y 0,35% respectivamente).

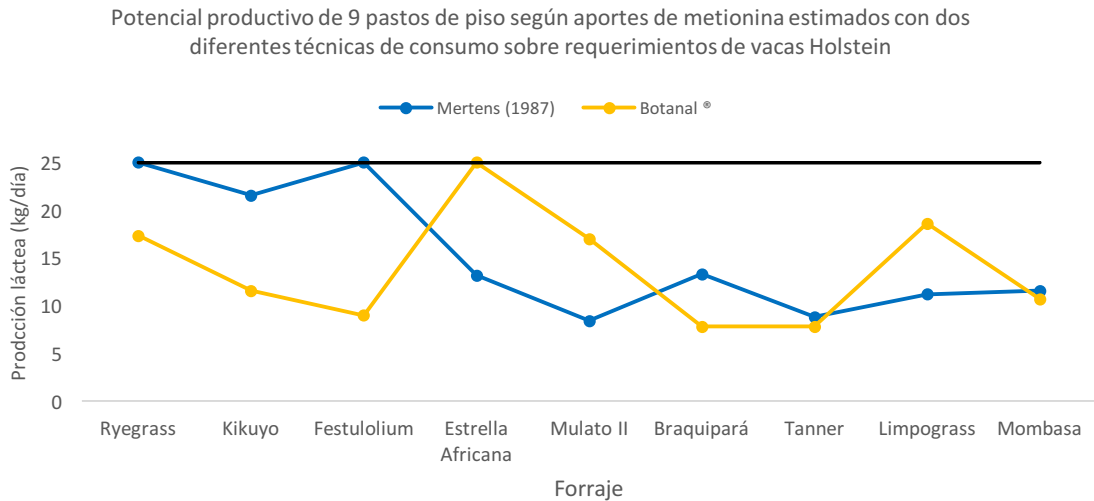


Figura 6. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de metionina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein

Los pastos que realizan menores aportes sobre los requerimientos de metionina son Mulato II y Tanner, obteniéndose potenciales de producción láctea de 8,41 y 8,82 kg leche/animal/día. Un bajo contenido de metionina en ambos pastos (0,19 y 0,20%) respectivamente hace que, aunque presenten mayores CMS comparados con forrajes como Limpograss y Mombasa el potencial productivo sea menor, en promedio 2,76 kg menos por animal/día.

Según la estimación de CMS vía forraje, el pasto Estrella Africana alcanza un potencial máximo de producción láctea, siendo este el único forraje que logra aportar el 100% de los requerimientos de metionina para animales Holstein a los diferentes niveles productivos estimados en el presente trabajo.

Al comparar el consumo del pasto Estrella Africana con el pasto Mulato II (menos de 0,200 kg MS/animal/día de diferencia), el potencial productivo de los animales es superior en 8 kg leche/animal día (25 vs 17 kg/animal/día), mientras que una menor diferencia de producción se da con el pasto Limpograss (25 vs 18,60 kg/animal/día) a pesar de que se obtiene un consumo de materia seca menor que el del pasto Estrella (4 kg MS menos por animal/día), esta inferioridad en la producción láctea de los animales se debe a que el pasto Limpograss contiene 0,2% más de metionina que el pasto Estrella y 0,9% más que el Mulato II.

El pasto Ryegrass hace aportes similares de metionina comparado con los forrajes Mulato II y el Limpograss, estimando un potencial productivo de 17,33 kg/animal/día, siendo este superior al del Mulato II por 0,33 kg/animal/día, pero a su vez 1,27 kg inferior al potencial del Limpograss, a pesar de presentar menores CMS (7,80 y 4 kg MS menos animal/día). Este potencial del Ryegrass es explicado por su alto contenido de metionina (0,41%), siendo este mayor que los reportados para el Mulato y el Limpograss en el cuadro 3.

Los menores aportes sobre los requerimientos de metionina estimando el CMS mediante la técnica de Botanal® son reportados para el pasto Tanner y el pasto Braquipará. Ambos pastos reportan el mismo potencial productivo (7,40 kg/animal/día). La superioridad en el contenido de metionina del pasto Braquipará (0,27% vs 0,20%), hace que la diferencia de consumo potencial del pasto (2,4 kg MS/animal/día menos que el Tanner) no disminuya el potencial de producción de leche del Braquipará con respecto al Tanner.

De todos los aminoácidos en estudio, la histidina presenta los menores requerimientos. Los cuales son satisfechos por los animales en su totalidad si consumen pastos como Kikuyo, Festulium y Estrella Africana con una estimación de consumo según %FDN, y tendrían la capacidad de expresar un potencial máximo de producción (25 kg/animal/día). Lo anterior se muestra en la figura 7.

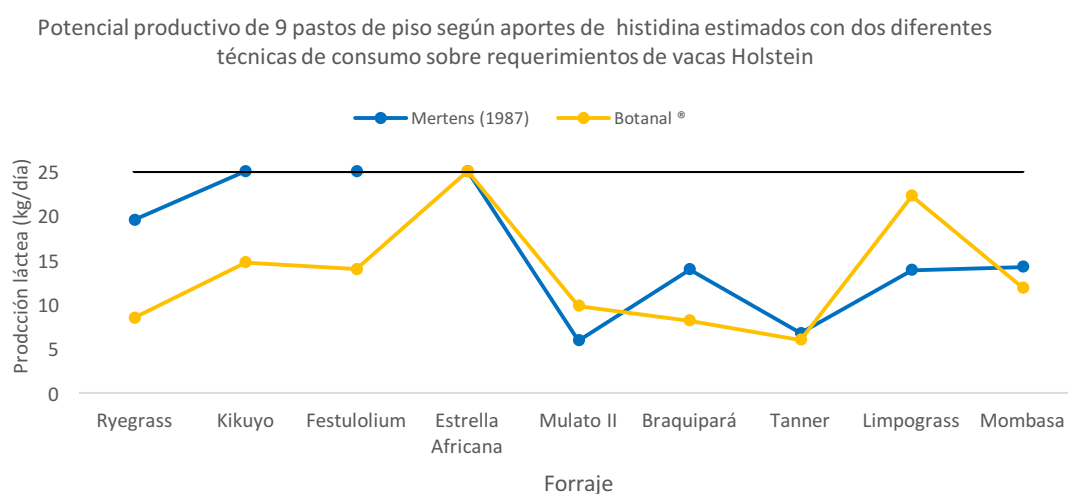


Figura 7. Potencial productivo de 9 forrajes de piso según aportes de histidina estimados con dos diferentes técnicas de consumo sobre requerimientos de vacas Holstein

Cabe destacar que, aunque para el pasto Ryegrass se obtengan los mayores CMS en base al contenido de FDN este no logra satisfacer las necesidades en un 100%, debido a su bajo contenido de histidina (0,23%), contrario a lo que sucede con el Estrella Africana el cual presenta un consumo de materia seca inferior a todos los pastos mencionados anteriormente, pero su alto contenido de histidina hace que logre estos aportes.

Similar a los que sucede con los requerimientos de vacas Jersey, los menores aportes de histidina de manera teórica son presentados por los pastos Mulato II y Tanner. Esto debido a sus bajos contenidos de este aminoácido (0,13 y 0,14%), pastos como Braquipará y Mombasa reportan el doble del contenido de histidina, lo cual explica un mayor potencial por parte de estos a pesar de que los CMS son mayores (cuadro 8).

Para la estimación de CMS utilizando la técnica de Botanal® el pasto Estrella es el único que logra satisfacer los requerimientos de histidina de los animales en el nivel máximo de producción. En este caso, el pasto presenta la mayor producción de biomasa por ende mayor consumo por parte de los animales y, además, el contenido más elevado de histidina (0,65%), a pesar que las diferencias de consumo con respecto al pasto Mulato son menores a 0,200kgMS/animal/día, la diferencia en el potencial de producción láctea es de más de 15kg/animal/día.

El alto contenido de histidina del pasto Festulolium (0,45%) hace que los aportes sean mayores comparados con los que hacen Ryegrass, Braquipará, Mombasa y Tanner; y esta superioridad también ve reflejada en el potencial productivo de los pastos, a pesar de presentar una menor estimación de consumo de materia seca por parte de los animales, comparada con los forrajes mencionados anteriormente.

Los menores aportes de histidina son presentados por los forrajes Tanner, Braquipará y Ryegrass cuando se estiman los CMS en base a la técnica de Botanal®, a su vez los niveles más bajos de potencial productivo (6, 8,16 y 8,48 kg/animal/día respectivamente). Los pastos Braquipará y Tanner presentan los valores más bajos de histidina (0,13 y 0,14%), esto, sumado a su baja producción de biomasa, es la razón por la cual se obtienen los menores aportes.

Con animales raza Holstein también se ha analizado en diferentes estudios el efecto de la suplementación con aminoácidos inerte en rumen, tanto con metionina, lisina, histidina y

otros. Uno de estos fue realizado por Giallongo et al. (2016), en el cual utilizaron la suplementación de cada uno de los 3 aminoácidos y una combinación de ellos, en dos dietas: una con niveles adecuados de proteína metabolizable y la otra deficiente en proteína metabolizable (entre 5-10% de deficiencia). Estos autores obtuvieron un incremento en el contenido de proteína en leche y concentración de glucosa en plasma cuando se suplementó lisina inerte en rumen en la dieta deficiente en proteína metabolizable. Al adicionar histidina inerte en rumen a la misma dieta obtuvieron una tendencia de aumento en el consumo de materia seca, y grasa y proteína láctea.

En algunos casos el uso de aminoácidos protegidos en rumen no muestra diferencias significativas en la cantidad de leche producida, contenidos de grasa y proteína en leche, consumo de materia seca, entre otros (Awawdeh 2016, Suksosmbat et al. 2012, Broderick et al 2008, Dorkint et al 1989, entre otros).

Por otra parte, se han obtenido resultados positivos en diferentes estudios, por ejemplo: aumento en el consumo de materia seca post parto al suplementar con metionina y colina inertes en rumen, dietas de vacas Holstein (Soltan et al. 2012 y Ordway et al. 2009). Además, se ha demostrado la reducción en el conteo de células somáticas en leche de vacas raza Holstein (Li et al. 2016 y Pirestani et al. 2011).

Las mayores diferencias de potencial productivo de los pastos en base a los aportes de histidina según las 2 estimaciones de consumo (120/FDN vs Botana®) son presentadas por el pasto Ryegrass (19,53 vs 8,48 kg/animal/día) y el Festulolium (25 vs 13,98 kg/animal/día), caso contrario a lo que ocurre con el pasto Limpograss, que obtiene una diferencia de producción de 8,37 kg más /animal/día cuando se estima con la técnica de Botana®.

Los pastos que presentan las menores variaciones en su potencial productivo entre las 2 técnicas de estimación de CMS, son la Estrella Africana (con ambos alcanzaría nivel máximo de producción láctea) y el pasto Tanner que el potencial es mayor en 0,76 kg/animal/día si se calcula el consumo utilizando la fórmula teórica.

6. CONCLUSIONES.

En el país hace falta investigación acerca del contenido de aminoácidos de los forrajes, al ser esta la primera investigación, se espera que los resultados mostrados sean de utilidad para nutricionistas animales a la hora de formular dietas para ganado.

Los pastos de bajura son los que mayoritariamente cumplen con la relación lys:met (un 75% de los pastos), mientras que los pastos de altura solo el pasto kikuyo cumple con esta relación (3,5:1).

Las estimaciones de consumo muestran diferencias sobre el aporte de los aminoácidos y el potencial productivos de estos, por lo cual es necesario recalcar la importancia de buscar una estimación de CMS que dé resultados más precisos, muestre el consumo real de forrajes y de esta manera hacer un balance de dieta que aumente la producción, a menor costo posible y mínimo costo ambiental.

Es importante destacar que, aunque los de zona baja presenten mayor producción de biomasa que los de altura (excepto estrella africana) su bajo contenido de aminoácidos hace que en algunos casos reporten los menores aportes.

En promedio el máximo potencial productivo de vacas Jersey obtenido según aportes de los pastos de altura sobre los requerimientos de los 3 aminoácidos limitantes estimando el consumo según la concentración de FDN fue de 8,65 kg/animal/día, mientras que con la estimación de CMS según técnica de Botanal® de 5,34 kg/animal/día. En el caso de los pastos de bajura fue en promedio de 4,12 y 4,08 kg/animal/día respectivamente

Para los animales Holstein el máximo potencial productivo cuando la estimación de CMS se hizo con base en el porcentaje de FDN fue de 13,19 kg/animal/día con pastos de altura y de 5,94 kg/animal/día con los pastos de bajura. Cuando se estimó el CMS según técnica de Botanal® se reportó un potencial en promedio de 7,79 y 6,00 kg/animal/día para pastos de altura y bajura respectivamente.

7. LITERATURA CITADA.

Albert B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J.D. 1987. Biología molecular de la célula. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. España.

Andrade M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov) en la producción de ganado lechero de Costa Rica. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Araujo-Febres O. 2005. Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de pastos y forrajes. 1-12.

Arce W. 2016. Análisis de correlación y regresión entre la metodología de producción de gas y la ecuación mecanicista del Consejo Nacional de Investigación, EE. UU., (NRC 2001) para determinar el contenido energético *in vitro* de forrajes. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

Arroyo J. 1992. Utilización de diferentes niveles de MHA (Hidroxianálogo de Metionina) sobre producción y composición de la leche en vacas en pastoreo durante el verano. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

Awawdeh M.S. 2016. Rumen-protected methionine and lysine: effects on milk production and plasma aminoacids of dietary cows with reference to metabolizable protein statut. Journal of Dairy Research. 83(2): 151-155

Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1991. Methods of analysis. Washington. D.C.

Bargo F., Muller L.D, Kolver E.S., Delahoy J.E. 2003. Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. Journal of Dairy Science. 86: 1-42.

- Bartolomeo M.P., Maisano F. 2006. Validation of a reversed-phase HPLC method for quantitative amino acid analysis. *Journal of Biomolecular Techniques*. 17: 131-137.
- Balseca D, Cienfuegos E., López H. B., Guevara H.P, Martínez J. C. 2015. Nutritional value of Brachiarias and forage legumes in the humid tropics of Ecuador. *Ciencia e investigación agraria*. 42(1): 57-63.
- Bernardis A., Roig C., Osvaldo-Fernandez, J. 2002. Efecto de la fertilización sobre el contenido de fibra y energía metabolizable en *Hemarthria altissima*. Sesión de Comunicaciones Científicas. Corrientes. Argentina.
- Broderick G.A., Stevenson M. J., Patton R. A., Lobos N. E., Colmenero, J. J. 2008. Effect of supplementing rumen protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91:1092-1102.
- Birchman J., Hodgson J. 1983. The influence of swards condition on rates of herbage growth and senescence in mixed sward under continuous stocking management. *Grass and Forage Sci*. 38(4): 323-331.
- Bionaz M., Loor J. 2012. Ruminant metabolic systems biology: reconstruction and integration of transcriptome dynamics underlying functional responses of tissues to nutrition and physiological state. *Gene Regul Syst Bio*. 6: 109-125.
- Campos-Granados C., Rojas-Bourrillón A. 2015. Digestibilidad in vitro de la fibra detergente neutra de 9 forrajes de piso utilizados en fincas comerciales de Costa Rica. *Memorias Congreso Nacional Lechero 2015*.
- Cascante S. 2018. Validación del sistema de pastoreo bajo el concepto de edad fenológica del pasto kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) en la lechería La Guaria, de la Hacienda La Concordia, Alajuela, Costa Rica. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

- Chalupa W., Sniffen C. 1996. Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle-today and tomorrow. *Animal Feed Science Technology*. 58: 65-75.
- Chen Z.H., Broderick G.A., Luchini N.D., Sloan B.K., Devillard E. 2011. Effect of feeding different sources of rumen-protected methionine on 34 milk production and N-utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94(4): 1978-1988.
- Correa H., Pabon M., Carulla J. 2008a. Valor nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*. 20(4). Artículo #59.
- Correa H., Carulla J., Pabón M. 2008b. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Livestock Research for Rural Development*. 20(4): Artículo #61.
- Cowan R. T., Lowe K. F. 1998. Tropical and Subtropical Grass Management and Quality. Grass for Dairy Cattle. Eds. J. H. Cherney and D. J. R. Cherney. CABI Publishing. Oxon OX10 8DE. UK.
- Cruz M., Sánchez J. 2000. La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*. 6(1): 39-74.
- De García. 2011. Guía para el Análisis Bromatológico de Muestras de Forrajes. Laboratorio de Nutrición Animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. Panamá.
- De Oliveira B.C., De Oliveira G., Caetano M.B., Raimundo T., De Oliveira C.B. 2017. Mecanismos reguladores de consumo em bovinos de carne. *Nutritime Revista Electrónica*. 14(4): 6066-6075.
- Del Pozo, P. 2000. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. PASTOS XXXII. San José de Lajas. La Habana. Cuba. 2: 109-137.

- De Tonissi, R. H., de Goes, B., Mancio, A. B., de Paula, R., Queiroz, R. M. 2003. Avaliação qualitativa da pastagem de capim Tanner-Grass (*Brachiaria arrecta*), por três diferentes métodos de amostragem. *R. Bras. Zootec.* 2(1): 64-69.
- Díaz-Rayón, F., García, A. 2013. Diferencias en eficiencia alimentaria entre vacas de raza Jersey y Holstein. *Frisona española*, 33(197): 102-104.
- D' Mello J.P. 2003. *Aminoacids in Animal Nutrition*. CABI. Segunda Edición. Oxon. United Kingdom. 495.
- Dormond H., Rojas-Bourrillón A., Boschini C. 1990. Efecto de la DL-Metionina sobre parámetros productivos en vacas de doble propósito. *Agronomía Costarricense*. 14(1): 31-36.
- Donkin S. S., Varga G.A., Sweeney, T.F. Muller, L.D. 1989. Rumen protected methionine and lysine: effects on animal performance, milk protein yield and physiological measures. *Journal of Dairy Science*. 72: 1484-1491.
- Duque M. 2015. Efecto de la suplementación con metionina y lisina protegidas sobre el flujo intestinal de aminoácidos, producción de leche y concentración de proteínas lácteas. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias para optar por el grado de doctorado en Ciencias Animales. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 179.
- Duque-Quintero M., Rosero-Noguera R., Olivera-Ángel M. 2017. Digestión de materia seca, proteína cruda y aminoácidos de la dieta de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2): 341-356.
- Edmunds B., Sudekum K. H., Speijers H., Schuster M., Schwarz, F. J. 2012. Estimating utilizable crude protein at the duodenum, a precursor to metabolizable protein for ruminants, from forages using a modified gas test. *Animal Feed Science and Technology*. 175: 3-4.

- Edwards A, Mlambo V, Lallo C, Garcia G, Diptee M 2012. In vitro ruminal fermentation parameters of tanner grass (*Brachiaria arrecta*) supplemented with leaves from three forage trees. *Livestock Research for Rural Development*. 24(6). Artículo #10
- Elizondo J. 2008. Requerimientos nutricionales de cabras Lecheras. II. Proteína metabolizable. *Agronomía Mesoamericana*. 19(1): 123-130.
- Elizondo J. 2017. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2): 329-340.
- Enríquez J.F, Hernández A., Quero A.R., Martínez D. 2015. Producción y manejo de gramíneas tropicales para pastoreo en zonas inundables. INIFAP-Colegio de Postgraduados. Folleto Técnico. 60.
- Ferraretto, L.A., Paula E.M., Ballard C.S., Sniffen C.J., Shinzato I. 2018 Impact of essential amino acid balancing postpartum on lactation performance by dairy cows. Florida Ruminant Nutrition Symposium. 28th Symposium.
- Frandsen R.D., Lee W.W., De Fails A. 2003. *Anatomy and Physiology of farm animals*. 6th edition. Blackwell Publishing. Texas. USA.
- Fulkerson W.J., Slack K., Hennessy D.W., Hough G.M. 1998. Nutrients in ryegrass (*Lolium spp*), white clover (*Trifolium repens*) and kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38: 227-240.
- Fulkerson W.J., Donaghy D.J. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41: 261-275.
- Galyean M L 1997 *Laboratory procedures in animal nutrition research*; West Texas A&M University, Division of Agriculture and Texas A&M Research and Extension Center, Amarillo. Texas, USA. 192.

- Giallongo F., Harper M.T., Oh J., Lopes J.C., Lapierre H., Patton R.A., Parys C., Shinzato I., Hristov A. N. 2018. Effect of rumen-protected methionine, lysine and histidine on lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 99(6): 4437-4452.
- González L. 2013. Implementación de prácticas de mejoramiento de pastos y su efecto sobre la productividad de una finca lechera en Tilarán, Guanacaste. Informe de práctica profesional presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Hannaway D., Fransen S., Cropper J. 1999. Annual Ryegrass. Oregon State University, USA
Consultado: 01 de marzo 2019. Disponible en: <http://eesc.orst.edu/AgComWebFile/EdMat/PNW501.html>.
- Hargraves, J.N.G., Kerr, J.D. 1978. Botanal: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition II. Computational package. Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO. Australia. Technical Memorandum. 9.
- Heinrichs J., Jones C., Bailey K. 2005. Milk components: Understanding the causes and importance of milk fat and protein variation in your dairy herd. DAS 05-97. The Pennsylvania State University, University Park. Pennsylvania, USA.
- Hernández G. N., Hernández K. R., Granados J. A., Niño A. A. S., Viramontes U. F. 2014. Calidad nutricional y utilización de forrajes en explotaciones lecheras en la Región Lagunera. *AGROFAZ*, 14(1): 33-41.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria. Resultados Generales de las Actividades Ganaderas Vacuna y Porcina.
- Ishler V. A., Heinrichs J., Varga G.A. 1996. From Feed to Milk: Understanding Rumen Function. Extension Circular N° 422. College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. The Pennsylvania State University. University Park, Pennsylvania. USA. 27.

- Jiménez C. 2003. Uso de las plantas forrajeras bajo corte. Características, diseño y planificación de sistemas de corte de plantas forrajeras. En: Producción y utilización de forrajes. Volumen 2. Documento digital. Curso AZ-4205. Manejo y utilización de pastizales. 82.
- Jurgens, MH. 1993. Animal feeding and nutrition. 7 ed. Kendall/Hunt Publishing Company.. Iowa, USA.
- Karunanandaa K., Goodling L.E., Varga G.A., Muller L.D., McNeill W.W., Cassidy T.W., Lykos T. 1995. Supplemental Dietary Fat and Ruminally Protected Amino Acids for Lactating Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*. 77(11): 3417-3425.
- Kellems, RO; Church, DC. 1998. Livestock feeds and feeding. 4ed. PrenticeHall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Lapierre, H., Ouellet D., Lobley, G. 2014. Estimation of histidine requirement in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 97. E-Supplement 1.
- Li C., Batistel F., Osorio J.S., Drackley J.K., Luchini D., Looor J.J. 2016. Peripartur rumen-protected methionine supplementation to higher energy diets elicits positive effects on blood neutrophil gene networks, performance and liver lipid content in dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 7: 18.
- Lösch, R., 1995. Plant water relations. *Physiology Progress in Botany*. Springer Forlag Berlín, 56: 55-96.
- Luque M. 2008. Estructura y propiedades de las proteínas. *Texto Básico de Química General*. Primera Edición. Riobamba. Ecuador. 23.
- Marais J. 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)-a review. *Tropical Grasslands*. 35: 65-84.
- Martin C., Mirande C., Morgavi D.P., Forano E., Devillard E., Mosoni, P. 2013. Methionine analogues HMB and HMBi increase the abundance of cellulolytic bacterial

- representatives in the rumen of cattle with no direct effects on fibre degradation. *Animal Feed Science and Technology*. 182(1-4): 16–24.
- Martinez-Machado A., Wing Ching-Jones, R. 2015. Calidad nutricional de los principales forrajes y subproductos agroindustriales utilizados en la alimentación de rumiantes en Costa Rica. Charla XXX Aniversario Centro Investigación en Nutrición Animal. San José. Costa Rica. Consultado: 15 de marzo 2019. Disponible en: <http://cina.ucr.ac.cr/index.php/2015-11-02-22-02-37/documentos-de-descarga/charlas-xxx-aniversario/detail>.
- Martinez P., Izquierdo F., Paladines O. 1996. Producción y utilización de pastizales en cinco zonas agroecológicas del Ecuador. MAG-GTZ-REPAAN. Quito. Ecuador. 235.
- Mayes R. W., Dove H. 2000 Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores; *Nutrition Research Reviews*. 13: 107-138.
- McKee J.R., McKee T. 2014. *Bioquímica. Las bases moleculares de la vida*. 5ed. McGraw-Hill. Oxford University. Inglaterra. 770.
- Mertens D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*. 64(5): 1548-1558.
- Mertens, D.R. 2001. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. Em: *Simpósio Internacional em Bovinos de Leite, 2º 2001, Lavras. UFLA-FAEPE*. 25-36
- Minson D. 1990. *Forrage in ruminant nutrition*. Academic Press. San Diego. California. 483.
- Molano M. L., Cortés M. L., Ávila, P., Martens, S. D., Muñoz, L. S. 2016. Ecuaciones de calibración en espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para predicción de parámetros nutritivos en forrajes tropicales. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 4(3): 139-145
- NRC (National Research Council) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 381.

- Newman, Y., Vendramini J., Sollenberger, L. E., Quesenberry, K. 2014. Limpograss (*Hemarthria altissima*): Overview and Management. SS-AGR-32Agronomy Department, Institute for Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Gainesville. USA.
- Nelson L.D., Cox M.M. 2000. Lehninger Principles of Biochemistry. 3rd Edition. Worth Publishers, New York. USA.
- Norton B., Poppi D. 1995. Composition and nutritional attributes of pasture legumes. Tropical Legumes in Animal Nutrition. Eds. J.P.F. D'MELLO, C. DEVENDRÁ. CAB International. United Kingdom.
- Oliveira V., Valença R., Santana-Neto J., Santana J., Santos C., Lima I. 2014. Utilização da Técnica de produção de gás In vitro para estimar a digestibilidade dos alimentos. Revista Científica de Medicina Veterinária. XII(23): 10.
- Ordway R.S., Boucher S.E., Whitehouse N. L., Schwab C.G., Sloan B.K. 2009. Effects of providing two forms of supplemental methionine to periparturient Holstein dairy cows on feed intake and lactational performance. Journal of Dairy Science. 92(10): 5154-5166.
- Ordway R. S. 2005. An evaluation of supplemental methionine sources for lactating dairy cows. PhD Thesis. University of New Hampshire, Durham, USA. 196.
- Ortega-Aguirre C.A, Lemus-Flores C., Bugarín-Prado J.O., Alejo-Santiago G., Ramos-Quirarte A., Grageola-Núñez O., Bonilla-Cárdenas A. 2015. Características agronómicas, composición bromatológica, digestibilidad y consumo animal en cuatro especies de pastos de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*. Tropical and Subtropical Agroecosystems 18: 291-301.
- Osorio J.S. 2018. Amino Acid Balancing and Its Role on Metabolism, Inflammation, and Oxidative Stress: Future Molecular Implication. Florida Ruminant Nutrition Symposium 29th Annual Meeting.

- Parra J. E. 2000. Evaluación de la proteína del pasto kikuyo a diferentes edades de crecimiento; Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Colombia.
- Patterson J., Kung L. 1988. Metabolism of DL-methionine and methionine analogs by rumen microorganisms. *Journal of Dairy Science*. 71(12): 3292-301.
- Perozo A. 2013. Manejo de pastos y forrajes tropicales. Cuadernos Científicos Giraz. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo. Venezuela.
- Pirestani A., Aghakhani M., Tabatabaei S.N., Ghalamkari G., Baharlo, F. 2011. Effects of dietary L-Carnitine and Choline Chloride Compound on Reproduction Indices and Udder Immune System in Holstein Dairy Cattle. *International Conference on Life Science and Technology*. 3: 59-61.
- Radkowski A., Radkowska I. 2018. Influence of foliar fertilization with amino acid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. *Plant, Soil and Environment*. 64(5): 209-213.
- Reeves M., Fulkerson W.J., Kellaway R.C. 1996. Forage quality of kikuyu (*Pennisetum 72landestinum*): the effect of time defoliation and nitrogen fertilizer application and in comparison, with perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Australian Journal of Agricultural Research*. 47(8): 1349-1359
- Robinson P.H. 2010. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livestock Science*. 127: 115-126.
- Rodríguez M. 2009. Rendimiento y valor nutricional del pasto *Panicum maximun cv. Mombaza* a diferentes edades y alturas de cortes. Trabajo final de graduación presentado para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Agronómica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alajuela. Costa Rica

- Salazar S. 2007. Disponibilidad y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, cantón de San Carlos. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José. Cota Rica.
- Sánchez W. 2017. Experiencias en el manejo de los pastos en la zona alta, Costa Rica. Memorias Congreso Nacional Lechero 2017.
- Sánchez W., Hidalgo C. 2009. Experiencias con forraje de altura en la zona alta lechera de la microcuenca Plantón – Pacayas. Boletín Técnico No 07. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 8(1): 71-80.
- Sánchez J.M. 2008. El pasto kikuyo y su aporte a la nutrición de vacas lecheras: VI Seminario Internacional. Competitividad en Carne y Leche. 137-155.
- Sánchez J.M. 2007. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Barquisimeto, Venezuela. 1-24.
- Sánchez J.M., Villareal M., Soto H. 2000. Caracterización nutricional de los componentes forrajeros de cuatro asociaciones gramíneas/*Arachis pintoii*. Nutrición Animal Tropical. 6(1): 1-22.
- Sánchez J.M., Soto H. 1999. Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche, en el trópico húmedo del norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense. 23(2): 16.
- Schwab C. 2012. The principles of balancing diets for amino acids and their impact on N utilization efficiency. Proceedings of the 23rd Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida, Gainesville, Florida. Estados Unidos. 1-15.
- Schwab, C. G., Broderick G.A. 2017. A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. Journal of Dairy Science. 100: 10094-10112.

- Soltan M.A, Mujalli A.M, Mandour M.A., Abeer M.E. 2012. Effect of dietary rumen protected methionine and/or choline supplementation of rumen fermentation characteristics and protective performance of early lactating cows. *Pakistan Journal of Nutrition*: 11(3): 221-230.
- Segura J., Rosales R. 2008. Informa de práctica laboral y profesional en ganadería de carne, realizada en la Finca Maryland, Maryland, Siquirres, Limón, Costa Rica. *Actualidad Zootécnica*, 4(2): 34-35.
- Simón J.P., Hatch M.D. 1994. Temperature effect on the activation and inactivation of Pyruvate, Pi Dikinase in two population of C4 weed *Echinochloa Crusgalli* (*Barayard grass*) from sites of contrasting climate. *Australian Journal Plant Physiology*, 21: 463-73.
- Soto C., Reinoso V. 2007. Suplementación proteica en Ganado de carne. *Rev. Soc. Vet. Del Uruguay*. 46(167): 27-34.
- Suksombat, W., Homkao, J. and Klangnork, P. 2012. Effect of biotin and rumen protected choline supplementation on milk production, milk composition, live weight change and blood parameters in lactating dairy weights. *Journal of Animal Veterinarian Advance*. 10: 2186-2192
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plant Physiology*. Fifth Edition. Sinauer Associates Inc Publishers. Sunderland, Massachusetts. Estados Unidos. 343-351.
- Tedeschi L. O., Fox D.G, Fonseca M. A., Cavalcanti L. F. L. 2015. Invited Review: Models of protein and amino acid requirements for cattle. *Rev. Bras. Zootec*. 44: 109-132.
- Vargas O. 2014. Efecto de dos niveles de proteína cruda y suplementación con hidroxianálogo de metionina en el desempeño productivo de vacas lecheras. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

- Vargas C., Boschini C. 2007. Suplementación con harina de banano sobre la ganancia de peso en novillas Jersey. *Agronomía Mesoamericana*. 18(1): 19-25.
- Van Soest P.J., Robertson J.B. 1985. *Analysis of forages and fibrous feeds*. Cornell University. Ithaca, New York. 165.
- Van Soest P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second Edition. Comstock Publishing Associates. Ithaca, New York. Estados Unidos. 476.
- Van Soest P.J., Giner-Chavez B.I. 1994. Nutritive value of fibrous feeds. *Sistemas de Producción de Ganado de carne en el trópico*. Balsa, Atenas. Costa Rica. 10.
- Villalobos L., Sánchez J.M. 2010a. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I Producción de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense*. 34(1): 31-42.
- Villalobos L., Sánchez J.M. 2010b. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*. 34(1): 43-52.
- Villalobos L., Arce J., WingChing R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), Kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y Ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 37(2): 91-103.
- Villalobos L., Arce J. 2013. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica: Disponibilidad de biomasa y fenología *Agronomía Costarricense*. 37(1): 91-101.
- Villalobos L., Arce J. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica: II. Valor nutricional. *Agronomía Costarricense*. 38(1): 133-145.

- Villareal M. 1992. Evaluación comparativa de Ratana (*Ischaemum ciliare*) como especie forrajera. *Agronomía Costarricense*. 16(1): 37-44.
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A. 2006. Increasing the Physically Effective Fiber Content of Dairy Cow Diets May Lower Efficiency of Feed Use. *Journal of Dairy Science*. 89 (7): 2694-2704.
- Yao Z., Vance, D.E. 1988. The active synthesis of phosphatidyl- choline is required for very low density lipoprotein secretion from rat hepatocytes. *J. Biol. Chem*. 263: 2998-3004.
- Yeo J.M., Knight C.H., Chamberlain D.G. 2003. Effects of Changes in Dietary Amino Acid Balance on Milk Yield and Mammary Function in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 86(4): 1436-1444.

8. ANEXOS

Anexo 1. Planes de fertilización utilizados en 9 forrajes de piso utilizados en ganadería en Costa Rica

Planes de fertilización utilizados en fincas (Kg/ha/año)									
Pasto	Nutriente								
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B ₂ O ₃	CaO	S	Si	Zn
Ryegrass	216,4	97,2	39,6	34,4		20	35,6		
Kikuyo	604,4	115,83	53,46	15,59		487,61	17,82	6,24	0,8
Festulolium	604,4	115,83	53,46	15,59		487,61	17,82	6,24	0,8
Estrella Africana	273,6	64,8	32,4	56,4		24	53,4		
Mulato II	331,2								
Limpograss	195,86	47,7	24,3	108,68		913,73	22,5	7,38	12,6
Tanner	503,1	81	27						
Braquipará	331,2								
Mombasa	236,7	84,6	21,6	100,8		414,9	33,3		

Anexo 2. Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.

Forraje	Aminoácido	Aporte vía forraje (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	25
Ryegrass	Lisina	51,26	67	59	48	41
	Metionina	21,97	81	70	58	49
	Histidina	12,12	48	42	35	30
Kikuyo	Lisina	63,89	84	73	60	51
	Metionina	17,97	66	58	47	40
	Histidina	19,11	76	67	55	47
Festulolium	Lisina	33,86	44	39	32	27
	Metionina	13,92	51	45	37	31
	Histidina	18,13	73	63	52	44
Estrella	Lisina	85,33	100	98	80	68
Africana	Metionina	29,68	100	95	78	66
	Histidina	69,97	100	100	100	100

Anexo 3. Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.

Forraje	Aminoácido	Aporte según consumo teórico (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	25
Ryegrass	Lisina	97,66	100	100	92	78
	Metionina	41,86	100	100	100	94
	Histidina	28,08	100	98	80	68
Kikuyo	Lisina	91,96	100	100	87	74
	Metionina	26,86	95	83	68	58
	Histidina	27,50	100	96	79	67
Festulolium	Lisina	84,61	100	97	80	68
	Metionina	34,80	100	100	92	68
	Histidina	45,31	100	100	100	100
Estrella	Lisina	56,55	74	65	53	45
Africana	Metionina	19,60	72	63	52	44
	Histidina	46,37	100	100	100	100

Anexo 4. Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.

Forraje	Aminoácido	Aporte vía forraje (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	25
Ryegrass	Lisina	68,35	98	87	72	62
	Metionina	29,29	100	100	87	74
	Histidina	16,15	71	62	52	44
Kikuyo	Lisina	85,19	100	100	90	77
	Metionina	23,96	96	85	71	61
	Histidina	25,48	100	98	82	70
Festulolium	Lisina	45,15	65	57	48	41
	Metionina	18,57	75	66	55	47
	Histidina	24,18	100	93	78	67
Estrella	Lisina	133,77	100	100	100	100
Africana	Metionina	39,44	100	100	100	100
	Histidina	93,29	100	100	100	100

Anexo 5. Aporte porcentual de aminoácidos de 4 forrajes de zona alta sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.

Forraje	Aminoácido	Aporte según consumo teórico (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	15
Ryegrass	Lisina	128,50	100	100	100	100
	Metionina	55,07	100	100	100	100
	Histidina	30,37	100	100	98	84
Kikuyo	Lisina	120,99	100	100	100	100
	Metionina	34,03	100	100	100	86
	Histidina	36,19	100	100	100	100
Festulolium	Lisina	111,33	100	100	100	100
	Metionina	45,78	100	100	100	100
	Histidina	59,62	100	100	100	100
Estrella	Lisina	74,40	100	94	79	67
Africana	Metionina	24,79	100	88	73	63
	Histidina	61,01	100	100	100	100

Anexo 6. Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botanal®.

Forraje	Aminoácido	Aporte vía forraje (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	15
Mulato II	Lisina	70,81	93	81	67	57
	Metionina	21,64	80	69	57	48
	Histidina	14,05	56	49	40	34
Braquipará	Lisina	36,71	48	42	35	29
	Metionina	12,13	45	39	32	27
	Histidina	11,68	34	30	29	28
Tanner	Lisina	33,55	44	38	32	27
	Metionina	12,17	45	39	32	27
	Histidina	8,58	34	30	25	21
Limpograss	Lisina	52,46	69	60	49	42
	Metionina	23,52	87	75	62	53
	Histidina	24,36	97	85	70	59
Mombasa	Lisina	54,55	72	62	51	44
	Metionina	16,55	61	53	44	37
	Histidina	17,01	68	59	49	41

Anexo 6. Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Jersey con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.

Forraje	Aminoácido	Aporte según consumo teórico (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	15
Mulato II	Lisina	43,32	57	50	41	35
	Metionina	13,24	49	42	35	30
	Histidina	8,59	34	30	25	21
Braquipará	Lisina	57,54	76	66	54	46
	Metionina	19,01	70	61	50	43
	Histidina	18,31	73	64	52	45
Tanner	Lisina	38,26	50	44	36	31
	Metionina	13,88	51	44	37	31
	Histidina	9,79	39	34	28	24
Limpograss	Lisina	39,28	52	45	37	31
	Metionina	17,61	65	56	46	39
	Histidina	18,24	73	63	52	44
Mombasa	Lisina	59,95	79	69	56	48
	Metionina	18,19	67	58	48	41
	Histidina	18,69	75	65	54	45

Anexo 7. Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo con técnica de Botana®l.

Forraje	Aminoácido	Aporte vía forraje (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	15
Mulato II	Lisina	94,41	100	100	100	85
	Metionina	28,85	100	100	85	73
	Histidina	18,73	82	72	60	52
Braquipará	Lisina	48,95	70	62	52	44
	Metionina	16,17	65	57	48	41
	Histidina	15,58	68	60	50	43
Tanner	Lisina	44,74	64	57	47	40
	Metionina	16,23	65	58	48	41
	Histidina	11,44	50	44	37	32
Limpograss	Lisina	69,94	100	89	74	63
	Metionina	31,36	100	100	93	79
	Histidina	32,47	100	100	100	89
Mombasa	Lisina	72,74	100	92	77	66
	Metionina	22,07	89	78	65	56
	Histidina	22,68	99	87	73	62

Anexo 8. Aporte porcentual de aminoácidos de 5 forrajes de zona baja sobre el requerimiento de vacas Holstein con diferentes niveles de producción según estimación de consumo teórico.

Forraje	Aminoácido	Aporte según consumo teórico (g/día)	Nivel productivo (kg leche/animal/día)			
			12	15	20	25
Mulato II	Lisina	57,00	82	72	60	52
	Metionina	17,42	70	62	52	44
	Histidina	11,31	49	44	36	31
Braquipará	Lisina	75,71	100	96	80	68
	Metionina	25,01	100	89	74	63
	Histidina	24,09	100	93	77	66
Tanner	Lisina	50,34	72	64	53	46
	Metionina	18,26	73	65	54	46
	Histidina	12,88	56	50	41	35
Limpograss	Lisina	51,68	74	65	55	47
	Metionina	23,17	93	82	69	59
	Histidina	24,00	100	93	77	66
Mombasa	Lisina	78,88	100	100	83	71
	Metionina	23,93	96	85	71	61
	Histidina	24,59	100	95	79	68

