



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RURALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS EN UN SISTEMA
SILVOPASTORIL EN CHIAPAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

JOEL GALVEZ LUIS

COMITÉ TUTORAL:

DR. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

DR. GILBERTO YONG ÁNGEL

Toluca, Estado de México, a septiembre de 2022

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) además del elemento pecuario y pastos forrajeros, involucrar árboles y arbustos de especies leguminosas, mismos que proveen más biomasa forrajera con mayor aporte de proteína (PC), haciéndolos opciones agroforestales sustentables con mayor eficiencia y productividad para los sistemas de producción ganadera. El objetivo del presente trabajo fue evaluar tres suplementos alimentarios de alto contenido energético sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno contenido en la dieta, producción y composición de la leche. Fueron usadas 12 vacas encastadas de doble propósito alimentadas en un SSP con *Leucaena leucocephala* y *Digitaria swazilandensis*, aplicándoles cuatro tratamientos, se suplementaron 25 MJ/vaca/día de sorgo, melaza y precursores gluconeogénicos, más el tratamiento control, utilizando un diseño experimental de cuadrado latino 4x4 con tres repeticiones siendo los periodos experimentales de 14 días y duración total de 56 días. El aporte de dicha investigación es de un artículo de revisión publicado, así como un trabajo enviado para publicación. Es necesario continuar con investigaciones que aporten Información validada que sirva para que los sistemas de producción ganadera implementen estrategias de producción diferentes, eviten la transformación de los ecosistemas y transiten a una reconversión ambientalmente sostenible.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.2. La producción de leche en los sistemas silvopastoriles	6
2.3. Servicios ambientales de los sistemas silvopastoriles.....	7
2.3.1. Almacenamiento de carbono	8
2.3.2. Reciclaje de nitrógeno.....	9
2.4. Comportamiento animal	10
2.4.1 Bienestar animal.....	11
2.5. Productividad	12
2.6. Suplementación energética.....	13
2.6.1. Necesidades energéticas de los rumiantes	13
2.6.2. Utilización de la energía por los rumiantes.....	14
2.6.3. Eficiencia energética en la producción con rumiantes.....	15
2.6.4. Manipulación del metabolismo ruminal en los sistemas silvopastoriles.....	16
2.6.5. Utilización de suplementos energéticos en bovinos.....	17
2.7 Investigación participativa.....	20
III. Preguntas De Investigación	22
IV. JUSTIFICACIÓN	23
V. OBJETIVOS.....	25
5.1. Objetivo general.....	25
5.2. Objetivos específicos.....	25
VI. HIPOTESIS.....	26
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
7.1. Localización del sitio experimental	27
7.2. Desarrollo del experimento	27
7.3. Animales.....	28
7.4. Tratamiento y diseño experimental.....	28
7.4.1. Análisis bromatológico	29
7.4.2. Urea en leche	29

7.4.3. Rendimiento y composición de la leche.....	29
7.5. Análisis estadístico	30
VIII. RESULTADOS	31
IX. LITERATURA CITADA.....	74

I. INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera destaca por el uso de los recursos naturales, principalmente la tierra, ya que de esta depende la producción de biomasa forrajera de la que se alimenta el ganado bovino. En respuesta a los efectos negativos asociados con las actividades de la ganadería bovina en pastoreo, se ha considerado prioritario el fomentar una “reconversión” ambientalmente sostenible, con estrategias de producción diferentes, que limiten la transformación de ecosistemas y mantenga servicios ambientales, incorporando a las actividades de manejo zootécnico principios como: la diversificación de los animales domésticos en producción y la combinación del uso de especies vegetales nativas y cultivadas exóticas, controlando carga animal de acuerdo al potencial de los ecosistemas para mitigar los impactos negativos sobre los suelos (González et al., 2018).

En los sistemas tradicionales de monocultivos con pastizales, con altos contenidos de fibra y baja cantidad de carbohidratos solubles, la conversión en productos de origen animal es poco eficiente. Solo entre 10 y 35 % de la energía consumida es capturada como energía neta, debido a que entre 20 y 70 % de la celulosa no puede ser digerida por el animal. Por otra parte, se requieren 12,8 g de N kg⁻¹ MS en la dieta para garantizar el buen funcionamiento del rumen, por lo que, según las características de los forrajes del trópico, es necesario suplementar con N para cubrir los requerimientos de los bovinos (Gaviria et al., 2015).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son opciones de producción pecuaria que involucran la presencia de leñosas perennes (árboles y arbustos), interactuando

en el mismo sitio y tiempo con las plantas forrajeras tradicionales, en un sistema de manejo integral de producción ganadera. La inclusión de árboles y arbustos forrajeros en los SSP con mayor contenido de proteína, como las leguminosas, tiene como propósito alcanzar una mayor eficiencia y productividad en la ganadería. Sin embargo, aunque el consumo de proteína a partir de un SSP es adecuado para la mayoría de los estados fisiológicos de los rumiantes, el contenido de fibra en esa dieta podría limitar la productividad animal si no es degradada eficientemente en el rumen (Guzmán-Aguilar, 2019).

Bottini-Luzardo *et al.* (2016) puntualizaron que, en SSP con alta densidad de leucaena (>10,000 plantas/ha), una gran proporción del nitrógeno del follaje puede no ser utilizado a nivel ruminal, lo cual se refleja en aumentos en el nitrógeno ureico en sangre, mismo que puede perderse en la orina y en las heces.

En las condiciones de clima tropical es importante proporcionar a los animales raciones que induzcan bajo incremento calórico de alimentación. Se sabe que los granos (almidón) inducen un bajo incremento calórico de alimentación en comparación con los forrajes (celulosa). No obstante, frecuentemente, en áreas que poseen un clima tropical no es posible obtener granos o resultan caros para ser destinados a la alimentación de los rumiantes. En estas circunstancias es conveniente proporcionar un tipo de sustrato con menor incremento calórico. La grasa es el nutriente con más alta densidad energética y con más bajo incremento calórico, por lo que representa una opción para reducir la producción de calor metabólico durante períodos de estrés calórico en las condiciones tropicales (Ku-Vera *et al.*, 2014).

En una de las más recientes revisiones, López-Vigoa et al. (2017) argumentaron que los SSP brindan una alta disponibilidad de biomasa comestible para el ganado, que equivalen a una dieta de 11 a 16% de proteína cruda, y que permiten producciones de leche de 10-12 kg/vaca/día y entre 3,000 y 16,000 kg/ha/año.

Cuando el consumo de materia seca (MS) de los rumiantes se reduce, no pueden llenar sus requerimientos de energía metabolizable (ME) para el mantenimiento, lo que se traduce en un balance energético negativo con la consecuente pérdida de peso y baja producción de leche por vaca (Ku-Vera et al., 2014). Flores-Cocas et al., 2016, encuentran que la suplementación energética incrementó el consumo de MS (3 kg/MS/d). El rendimiento lechero fue 13% más alto ($P=0.048$) en el grupo suplementado (7.86 kg/vaca/d) que en el tratamiento control (6.47 kg/vaca/d), pero no es diferente con relación a melaza (7.42 kg/vaca/d). El rendimiento de leche registrados con pulido de arroz y pulido de arroz/melaza fueron iguales, pero más altos ($P<0.005$) que melaza y control.

En un estudio realizado por Arjona-Alcocer et al. (2020) en el que se evaluó un tratamiento control, y suplementos basados en sorgo y pulido de arroz, el rendimiento de leche se incrementó un 42 % en los animales alimentados con sorgo, sin observarse diferencias en los animales alimentados con pulido de arroz y el control (melaza y pulpa de cítricos).

Es importante señalar, que existen evidencias que unidades productivas que logran incrementar su productividad un 10%, aumentan en promedio 1.5% la rentabilidad. Igualmente, una reducción del 10% en el costo unitario asociado a

suplementos y fertilizantes implica un aumento de la rentabilidad en 0.48% y 1.08%, respectivamente. Sin embargo, las fincas que gastan en suplementos presentan un 23.9% más de rentabilidad comparada con aquellas que no contemplan dicho rubro (Mayorga-Sánchez, 2012).

Resulta importante estudiar la dinámica fermentativa de los forrajes que componen los SSP con leucaena, con el fin de conocer si se encuentran en equilibrio o si es necesario sugerir ajustes o adiciones de suplementos energéticos a la dieta de los animales (Gaviria, 2015). En los trópicos, existe una gran cantidad de recursos alimenticios que son utilizados como suplementos energéticos en el ganado bovino, como la melaza, sorgo en grano, precursores gluconeogénicos, entre otros. Sin embargo, se desconoce su utilización en la alimentación de vacas alimentadas en un sistema silvopastoril.

El objetivo del presente trabajo es evaluar tres suplementos energéticos sobre la eficiencia en la utilización de nitrógeno en la dieta, la producción y la composición de la leche, en vacas de doble propósito alimentadas en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* (guach, guaje, leucaena) y *Digitaria swazilandensis* (pasto colochó, pasto suazi).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Factores que afectan la producción de leche en la ganadería tropical

La producción de leche, en los países tropicales, se ve afectada por las condiciones ambientales y la tecnología, la cual no está disponible para la mayoría de los productores.

Una característica importante de la ganadería de doble propósito en trópico es la flexibilidad de su función zootécnica, al producir leche por medio del ordeño y carne por el amamantamiento de los becerros (Ruíz et al., 2008). Estos sistemas contribuyen con cerca de un tercio de la leche que se consume en México (INIFAP, 2002). Las principales regiones productoras de leche en el trópico mexicano son Veracruz, La Huasteca, Chiapas y Tabasco (Castro et al., 2001).

Las razas de ganado que predominan son *Bos Indicus* y algunos encastes con razas *Bos Taurus*, en especial Holstein, Pardo Suizo y Simmental para potenciar la producción de carne y leche (Vilaboa y Díaz, 2009). La alimentación del ganado se basa en el pastoreo extensivo en pastizales naturales (Salvador-Loreto et al., 2016) o en praderas establecidas con gramíneas en monocultivo (Bacab et al., 2013).

El ordeño es manual, con el becerro al pie de la vaca para estimular la bajada de la leche (Vilaboa y Díaz, 2009). La principal fuente de mano de obra proviene de la familia del ganadero (García-Martínez et al., 2015). El nivel de producción de leche está en un rango de 3 a 10 litros vaca-1 día-1 (Salvador-Loreto et al., 2016).

2.2. La producción de leche en los sistemas silvopastoriles

El sistema silvopastoril (SSP) es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de plantas leñosas perennes (árboles o arbustos) que interactúan con forrajeras herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral. Este sistema incrementa la productividad y el beneficio neto del sistema a largo plazo (López-Vigoa et al., 2017). Varios estudios revelan importantes aumentos en la producción de leche y en la ganancia de peso por animal y por hectárea cuando se introducen leguminosas en pasturas tropicales. El incremento en la producción animal por la asociación gramínea-leguminosa, particularmente en áreas con épocas de sequía bien definidas, puede deberse a una producción más estable de forraje a lo largo del año. En ese tipo de pasturas la calidad del forraje disponible durante el periodo de sequía (mayor proteína cruda y digestibilidad) es mejor que en las constituidas por gramíneas. El mayor contenido de proteína cruda en la dieta de animales que pastorean en praderas asociadas no está relacionado sólo con el consumo de las leguminosas, sino también con la mayor cantidad de proteína cruda en las gramíneas que conforman la asociación (Aguilar-Pérez et al., 2007).

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) son rentables en escenarios ganaderos de leche o carne porque se eleva hasta cuatro veces la producción pecuaria comparada con la de sistemas de pastoreo extensivo y también porque producen a menores costos que los sistemas intensivos con pastos fertilizados, regados y con oferta de alimentos concentrados (Murgueitio-Restrepo et al., 2016). La implementación de SSPi permite reducir los costos comparados con

sistemas intensivos, al reemplazar el alimento concentrado en un 40% en vacas lecheras y reducir el uso de fertilizantes nitrogenados desde 300 ha⁻¹ año⁻¹ o más hasta cero (Molina *et al.* 2011, Uribe *et al.* 2011). Finalmente, los SSPi se destacan por reducir la estacionalidad de la reproducción (Sierra *et al.* 2015) porque el ganado tiene mejor alimentación en épocas críticas de sequía y porque sufre menos estrés calórico con reducción entre 6 - 14 grados Celsius en la temperatura de su entorno (Murgueitio *et al.* 2013). Como consecuencia, la producción de carne y leche por hectárea se incrementa.

Los SSP son una alternativa viable y sustentable para la producción de leche y carne en las regiones tropicales. Se ha demostrado que estos sistemas pueden mejorar la producción animal, tanto individual como por hectárea, especialmente cuando la producción se basa en pastos de baja calidad y disponibilidad (Aguilar-Pérez *et al.*, 2007).

2.3. Servicios ambientales de los sistemas silvopastoriles

Las prácticas agroforestales como los SSP, proporcionan beneficios espaciales y temporales, desarrollan los siguientes servicios ambientales: incremento de la producción y calidad de las pasturas, restauración de suelos degradados, mejoramiento de los recursos hídricos, secuestro de carbono y de gases de efecto invernadero y conservación de la biodiversidad, por lo que se demuestra la importante necesidad de introducir la agroforestería como actividad fundamental para la producción animal en el trópico, a nivel internacional, centros de investigación, gobiernos y entidades financieras priorizan la evaluación y valoración de SSP (Alonso, J. 2011).

En América Latina, la energía alimentaria para el ganado proviene principalmente de los pastos, que por lo general no pueden satisfacer los nutrientes requisitos para la producción de leche y carne. La utilización de prácticas ganaderas agroforestales, en particular los SSP, se considera una opción para obtener forraje altamente nutritivo, así como servicios ambientales derivados del cultivo de árboles (Murgueitio, 2011).

2.3.1. Almacenamiento de carbono

En términos generales, los procesos fisiológicos que presentan la mayor intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos en pastoreo son la fermentación entérica y la deposición de los residuos sólidos y líquidos bien sea directamente por los animales o cuando se acumulan y luego se aplican al suelo (GAMMA 2010; Romero 2008; Naranjo et al. 2012).

En la actualidad algunos problemas que están relacionados con el deterioro de la calidad del aire son, la acumulación de grandes cantidades de desechos orgánicos que se generan en las granjas y se vierten al ambiente, el uso excesivo de nutrientes que se pierden de los sistemas de producción y terminan contaminando fuentes de agua y suelos, las emisiones de metano (CH₄), amonio (NH₄⁺) y óxido nitroso (N₂O), GEI de la digestión del ganado y la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en el suelo (de Blas et al., 2008; Melse y Timmerman, 2009).

2.3.2. Reciclaje de nitrógeno

En relación al óxido nitroso (N₂O), es importante considerar que en proyectos forestales de remoción de gases de efecto invernadero (GEI), se ha cuestionado la inclusión de especies leguminosas argumentando que por los procesos de nitrificación/desnitrificación de nitrógeno (N) del suelo mediante su fijación biológica se incrementan las entradas de N₂ en el suelo produciendo un incremento en las emisiones de N₂O a la atmósfera y, en consecuencia, un aumento de las emisiones de GEI totales (Rochette and Janzen 2005; UNFCCC 2003; Salinas y Hernández 2008; Vallejo 2005). Sin embargo, aún hoy es escasa la bibliografía científica disponible sobre el efecto real que tiene la utilización de este tipo de plantas en las emisiones finales de N₂O y cómo se cuantifican dichas emisiones en un proyecto forestal de remoción de GEI (Naranjo et al., 2012). Es importante tener en cuenta que la fijación biológica de nitrógeno por las leguminosas se produce a partir de la energía solar; mientras que la producción de fertilizantes nitrogenados requiere cantidades significativas de combustibles fósiles no renovables o de otras fuentes de energías comerciales (Crews y Poeples, 2004).

Según el Grupo Inter-gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2006), el total de N excretado por Unidad Animal (U.A) en Suramérica, se estima en 162 g de N/día. Las emisiones directas de N₂O de las excreciones bovinas (heces y orina), equivalen al 2% del N presente en las excretas (IPCC 2006). Como emisiones directas, por cada kilo de N en forma de excreta depositada en el suelo, 20% se volatiliza y 30% se lixivia. Del 20% que se

volatiliza, el 1% es emitido como N₂O y del 30% lixiviado, un 75% es emitido como N₂O (IPCC 2006). Así, una U.A./ha produce 59.13 kg N/ha/año como excretas; es decir, en forma directa se emiten 0.59 kg de N-N₂O o 0.93 kg N₂O/ha/año e indirectamente se emiten 0.25 de N-N₂O o 0.39 kg N₂O/ha/año. Los cálculos en este estudio en emisiones de N₂O por heces y orina en kg CO₂ eq/ha/año, fueron de 355 para praderas degradadas (PD), 961 para praderas mejoradas (PM), 1230 para sistema silvopastoril intensificado (SSPi) y SSPi + Maderables, lo que equivale a decir que, en bovinos de carne, una U.A. emite anualmente 1.2 kg N₂O/ha/año que equivalen a 410.5 kg CO₂ eq/ha/año.

2.4. Comportamiento animal

Los factores ambientales inciden directamente en la actividad ganadera, toda vez que actúan sobre la fisiología productiva del animal y de forma indirecta al afectar el desarrollo de los pastos y forrajes. Partiendo de las condiciones ambientales óptimas, cualquier desviación, disminuyen considerablemente los rendimientos productivos, al tiempo que se afecta el estado de salud de los animales, por lo que toman gran importancia la implementación de los sistemas silvopastoriles, por sus innumerables beneficios en el confort de los animales (Pérez et al., 2008).

El papel que desempeñan los animales en los sistemas silvopastoriles puede ser visto como un elemento acelerador del proceso de reciclaje de nutrientes en el sistema, puesto que un alto porcentaje de la biomasa que consumen retorna al suelo en forma más degradada, el 90% de los nutrientes minerales (incluyendo el nitrógeno) retorna a la pastura en forma de heces y orina (Fernández-Mayer, 2017).

Los SSP contribuyen a mejorar el bienestar, la eficiencia productiva y reproductiva de los hatos, a través de la generación de microclimas que permiten a los animales estar cerca o en el rango de termo neutralidad ideal para reducir los impactos negativos sobre el consumo voluntario, la producción, la reproducción y la salud de los animales que genera el estrés calórico (Navas-Panadero. 2010).

2.4.1 Bienestar animal

Bienestar animal (BA) es el término acuñado para designar la manera en que un animal afronta las condiciones de su ambiente, indicándonos bienestar si está sano, cómodo, bien alimentado, se siente seguro, puede expresar sus formas innatas de comportamiento, si no padece sensaciones desagradables como dolor y miedo (SENASA, 2015).

El bienestar animal (BA), así como la educación a cerca del BA, es fundamental para el desarrollo integral de la sociedad, porque además es un criterio de sostenibilidad y tema básico en la salud y la producción animal. Los signos clínicos conductuales y aspectos mentales por pobre bienestar se relacionan a bienestar físico alterado: vacas lecheras en sistemas intensivos pueden desarrollar calambres musculares por estar alojadas en corrales con áreas muy reducidas que evitan el desplazamiento natural (Mota-Rojas, 2017).

En los sistemas de producción sustentable también se debe considera el bienestar del ganado y condiciones para la vida silvestre asociada. Los SSP, contempla prácticas que proveen estos servicios ambientales en los ranchos. Los árboles y arbustos se convierten en refugios donde los animales se protegen de los rayos

del sol, de la lluvia y de los vientos. La biodiversidad vegetal atrae fauna que llega a los potreros para alimentarse, protegerse, pernoctar y anidar; misma que contribuye con múltiples servicios ecosistémicos, como son la incorporación de las heces al suelo que hacen los escarabajos estercoleros, la dispersión de semillas por los venados y las aves, la polinización que realizan las abejas, etcétera (López-Ortiz, 2018).

2.5. Productividad

Medir la productividad de las empresas es fundamental para establecer el nivel de eficiencia con que se están empleando los recursos que se disponen para la explotación lechera en condiciones de eficiencia económica y su impacto en los recursos de uso común, que buscan demostrar la importancia de la sostenibilidad económica y sostenibilidad ambiental para la región, la cual está determinada por unas variables, importantes las cuales se deben definir, medir y administrar para el éxito de estos negocios, y de la comunidad en general. La productividad revela la calidad y eficiencia en la utilización de los recursos y en los mecanismos utilizados dentro de los procesos de producción de bienes y servicios. Además, el incremento sostenido de la productividad es fundamental para mejorar el nivel de vida de una sociedad. La medición de la productividad a nivel de las empresas, así como de las cadenas productivas, resulta ser una condición necesaria para la evaluación de su desempeño y la definición de estrategias empresariales (Mayorga-Sánchez, 2012).

2.6. Suplementación energética

Para el manejo nutricional se requiere del conocimiento básico de los procesos del metabolismo de energía dentro de los distintos sistemas de producción bovina. En la actualidad existen alternativas de manejo alimenticio, así como el uso de aditivos que permiten incrementar el consumo de energía digestible aparente (ED) y energía metabolizable (EM), y los factores ambientales o de actividad que modifican el requerimiento de energía neta (EN) de mantenimiento, son determinantes en la productividad de los bovinos (Mendoza-Martínez et al., 2008).

La importancia de utilizar árboles forrajeros como suplementos, ya sea como forraje de corte y transporte o directamente en sistemas de pastoreo, radica principalmente en su potencial como suplemento de proteína. Varios árboles y arbustos nativos de Mesoamérica (*Erythrina*, *Gliricidia*, *Leucaena*, *Guazuma*, *Prosopis*, etc.) contienen cantidades altas de proteína cruda en sus hojas y han demostrado una producción aceptable de biomasa (Ibrahim et al., 2005). Sin embargo, para una utilización óptima de las hierbas y el follaje tropical de árboles forrajeros, el ganado requiere fuentes de energía adicionales (López et al., 2000). Los suplementos locales parecen ser una alternativa estratégica, ya que los concentrados de piensos suelen ser costosos y en un suministro limitado.

2.6.1. Necesidades energéticas de los rumiantes

Las necesidades de energía de los bovinos son complejas y estas cambian de acuerdo con la raza, sexo, estado fisiológico y por la gran variedad de factores ambientales, también la composición de los nutrientes y el valor energético de los

alimentos varía ampliamente de acuerdo con las diferencias genéticas de la planta, estado fenológico, fertilización, irrigación y a la época de corte (Mendoza-Martínez et al., 2008).

Para que un animal produzca carne y/o leche, también requiere de un balance adecuado de energía, por lo que el desgaste energético del animal afecta gravemente la producción, más aún en un sistema de pastoreo en el que un animal puede perder hasta 12.48 Mcal/día (Jarquin, 2015). En zonas donde la época de sequía es muy marcada, aunado a un pasto de baja calidad, la pérdida energética llega hasta 15.75 Mcal/día, lo que muestra que todo el alimento consumido se gasta mayormente en la energía basal (Meneses-Figueroa y Villacrés-Matías, 2020).

La base para hacer los cálculos adecuados de los requerimientos de nutrientes de una vaca adulta son el nivel de producción de leche durante la lactancia, la etapa reproductiva, la conformación y la condición corporal (Obregón, 2013).

2.6.2. Utilización de la energía por los rumiantes.

El Adenosín Trifosfato (ATP) es la sustancia encargada de crear energía, y luego de crearla, se convierte en Adenosín Difosfato (ADP) y produce agua. El ATP producido se utiliza para el crecimiento, la proliferación celular, la absorción y la concentración intracelular y la contracción muscular, pero la mayor parte de la energía se pierde como energía térmica (Huertas, 2019).

En los alimentos de origen vegetal, los lípidos normalmente se encuentran en bajas cantidades. Los forrajes frescos contienen lípidos celulares (fosfolípidos) y

de superficie (glucolípidos) ricos en ácidos grasos esenciales, cuyo porcentaje puede alcanzar el 8 a 10 % de la materia seca (MS), el 60 al 80 % de los requerimientos energéticos del rumiante son cubiertos por los ácidos grasos volátiles (AGV) absorbidos y en parte metabolizados en la mucosa ruminal (Relling y Mattioli, 2003).

Los ácidos grasos (AG) que son ingeridos en la dieta sufren un proceso previo de biohidrogenación en el rumen, antes de ser absorbidos a nivel intestinal. La biohidrogenación ruminal es una etapa crítica en el metabolismo de AG dietarios, siendo esta en gran parte responsable de la diversidad de AG encontrados en leche y carne de rumiantes (Ferlay et al. 2017).

El estado fisiológico y genética del rumiante, como también las condiciones ambientales a las cuales está expuesto y el atendimento de sus requerimientos nutricionales, son los principales factores que afectan el metabolismo de ácidos grasos en el tejido adiposo y hepático (Castillo-Vargas, 2019).

2.6.3. Eficiencia energética en la producción con rumiantes

La microbiota ruminal metaboliza los carbohidratos de la dieta, transformándolos principalmente, en ácidos grasos volátiles (AGV) como acetato, butirato y propionato, en este proceso se producen moléculas de hidrógeno (H_2), mismas que, para mantener la eficiencia energética durante los procesos de fermentación anaerobia, deben ser removidas. El mantener una baja presión de H_2 en los sitios de fermentación, es una condición necesaria para la actividad de hidrogenasas bacterianas y la reoxidación de cofactores reducidos (NADH, NADPH,

ferredoxinas), procesos imprescindibles para la continuidad de la actividad glicolítica microbiana, la fermentación, el consumo de alimento y la digestibilidad (Leng 2014). Las principales vías de remoción de H₂ son la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados, la formación de ácido propiónico y de metano (CH₄) (Vargas et al 2012). La disminución en la producción de CH₄, se lograría promoviendo rutas alternativas en las que se elimine H₂ durante la fermentación y/o inhibiendo las reacciones liberadoras de H₂ (Ortiz et al., 2014).

Ku-Vera et al. (2014) mencionan que, en el ambiente anaerobio del rumen, únicamente se generan 4-5 ATP's/mol de glucosa fermentada, de un potencial de 36 ATP's/mol en condiciones aeróbicas, lo que representa del 10 al 12 % de su rendimiento, esta limitante debe comprenderse en el intento de sincronizar la disponibilidad de la energía y el nitrógeno en el rumen en condiciones prácticas de alimentación, con el propósito de extraer la mayor cantidad de energía útil de este sistema.

2.6.4. Manipulación del metabolismo ruminal en los sistemas silvopastoriles.

Los bóvidos dependen del producto de la fermentación microbiana ruminal, se busca manipular esta fermentación ruminal de forma positiva para mejorar los productos finales, dicha manipulación se realiza cambiando la ración, procesado de los alimentos y/o usando aditivos. Con los aditivos se busca maximizar la cantidad de nutrientes fermentados, optimizar el perfil de los ácidos grasos volátiles (AGV), eficientizar la producción de proteína microbiana, así también minimizar la producción de metano, la acumulación de amoníaco y lactato (Castillejos-Velázquez, 2005).

La degradación de cada tipo de carbohidrato (H2OC), posee características propias, son clasificados como de reserva (almidón), estructurales (pectina, celulosa y hemicelulosa) o azúcares (mono y disacáridos). Los carbohidratos (H2OC) representan el componente más abundante en la dieta de los rumiantes. El tipo de carbohidratos (H2OC) predominante en la dieta condiciona el desarrollo del tipo de flora adecuada para su fermentación y el ajuste del pH a su rango ideal. Así, una ración rica en almidón es fermentada por una flora amilolítica que desarrolla mejor a un pH de 5,5 a 6,0 mientras que una ración compuesta por forraje con alto contenido de carbohidratos (H2OC) estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectinas) será fermentada por una flora celulítica que desarrolla mejor a pH de 6 a 6,9 (Relling y Mattioli, 2003). Los diferentes sustratos como el almidón y sacarosa pueden afectar el patrón de fermentación, en particular la proporción de propionato, de acetato (Ku-Vera et al., 2014) y grasa de la leche.

2.6.5. Utilización de suplementos energéticos en bovinos.

Bargo et al., (2003) comentan que las vacas productoras de leche en condiciones de pastoreo durante su primer tercio de lactancia sufren un importante déficit energético, debido a que no alcanzan a cubrir los requerimientos para la producción de leche, lo que genera una movilización de las reservas corporales, que conduce a afectar los parámetros productivos y reproductivos de los animales.

En la actualidad a los bovinos en producción de leche y carne se les exige un elevado desempeño genético, esto conlleva mayores exigencias nutricionales, que no pueden ser suplidas con una dieta a base de forrajes, siendo muchas veces una limitante nutricional la fuente energética (Duarte et al., 2016).

Con el propósito de incrementar el aporte de energía se realiza generalmente una suplementación con granos de cereales (Schroeder et al., 2004), así como con aceites o grasas protegidas ya que pueden ser una buena posibilidad (Gangliostro y Schroeder, 2007), siempre que sea necesario llevar a cabo prácticas de alimentación tendientes a reducir el incremento calórico de alimentación (Ku-Vera et al., 2014).

2.6.5.1. Melaza

La melaza es uno de los subproductos de la azúcar, se utiliza como suplemento nutricional para los bovinos dado que lo transforman en una fuente de energía por excelencia, estimula el desarrollo de protozoarios ciliados que son los encargados de absorber de manera directa los azúcares para retener energía y se disminuya el crecimiento bacteriano (Quirola-Mendoza, 2020).

La importancia de la melaza, como suplemento energético para bovinos, se sustenta a partir de tres principios básicos, el costo, es una fuente de energía de rápido aprovechamiento y el radical carbono que se une a las proteínas microbianas, que al pasar al intestino se consumen (Zalapa-Rios, 2009).

2.6.5.2. Precursores gluconeogénicos.

Las necesidades de glucosa en los rumiantes son cubiertas a través de gluconeogénesis, el hígado es el principal órgano formador de glucosa empleando sustratos como propionatos, lactatos, glicerol y aminoácidos, estos precursores gluconeogénicos (PGNG) son sustratos que provee a los animales precursores de

glucosa, que activan y estimulan vías metabólicas que producen energía y otros diversos metabolitos (Relling y Mattioli, 2003).

Existen compuestos que no son carbohidratos ni grasas que al ser metabolizados forman glucosa y glucógeno. La vía fundamental dentro del metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas que permite la conversión de estos compuestos, se denomina gluconeogénesis, que da origen a la biosíntesis de una nueva fuente de glucosa (McKee y McKee, 2016).

Estos sustratos, estimulan y mejoran la gluconeogénesis a través del Ciclo de Krebs, cuyo resultado es la generación de energía que se da principalmente en las mitocondrias de las células hepáticas (). Las mitocondrias son donde se sintetizan las moléculas de energía necesarias para que realicen las funciones metabólicas de un organismo. En ausencia de dichos sustratos, una molécula de glucosa genera de ganancia solamente 2 moléculas de adenosina trifosfato (ATP), a diferencia de las 36 moléculas de ATP que se generan cuando se adicionan a la ración, dichos sustratos.

2.6.5.3. Granos.

Los granos de cereales, así como sus subproductos son los componentes principales de los concentrados que se utilizan para la suplementación de los rumiantes, ya que son esencialmente concentrados energéticos, siendo el almidón el componente fundamental de la materia seca (Herrera-Saldana et al.1990).

El porcentaje de degradabilidad del almidón en los granos de cereales oscila entre 50 y 95 %, siendo los más bajos para el sorgo y maíz, y más altos para trigo y cebada (Offner et al. 2003)

Debido a la inclusión de granos de cereales como suplementos en animales en pastoreo, ocurren interacciones entre los alimentos, repercutiendo en cambios en el consumo y en el ambiente ruminal lo que podría llevar a variaciones en la cantidad de proteína microbiana que llega a duodeno. La digestibilidad total de la dieta puede variar, lo mismo que la digestibilidad de las distintas fracciones del alimento. Aguerre-Antía (2015) encontró que los bovinos suplementados con sorgo presentaron una mayor concentración plasmática de glucosa y una menor concentración plasmática de glucagón que los no suplementados. Esta mayor concentración de glucosa plasmática se explica por una mayor absorción de glucosa en el intestino delgado y/o por una mayor gluconeogénesis a nivel hepático o renal (Aschenbach et al., 2010).

2.7. Investigación participativa.

Existen diferentes modelos de generación, transferencia de tecnologías y desarrollo de innovaciones. En la década de los '90 se enfatizaron los enfoques participativos como paso a la innovación local. Partiendo de este enfoque, los productores interactúan con los investigadores para definir los problemas, diseñan, ejecutan y evalúan los experimentos en los predios (Selener, 2006), dando lugar a procedimientos tales como en el Desarrollo Participativo de Innovaciones, basado en el principio que el conocimiento local y situacional de los habitantes de los

pueblos que a menudo es más intuitivo, en conjunto con el conocimiento de los investigadores se combina para experimentar con las innovaciones (Scheuermeier et al., 2004).

En la actualidad, las intervenciones con enfoques participativos para el desarrollo, la investigación e innovación en el sector agrario es una constante, buscando respuestas aptas a las necesidades de los productores utilizando diferentes metodologías, entre ellas la investigación participativa (Albicette-Bastreri & Chiappe-Hernández, 2012).

En el desarrollo participativo de tecnologías se construyen lazos de confianza entre los productores, técnicos e investigadores, lo que permite fortalecer los vínculos del conocimiento local como resultado de la experimentación campesina tradicional y el conocimiento científico, amalgamando los elementos para el desarrollo de las capacidades humanas (Elliot, 2007).

El objetivo de las diversas modalidades de la investigación participativa es realizar un verdadero cambio social que coadyuve el mejoramiento de las condiciones de vida y el entorno de las comunidades, lo que hace prioritario involucrar a la población local y potenciar sus conocimientos que logren transformaciones que respondan a las necesidades locales y sean sostenibles, esto hace necesaria la convivencia del conocimiento científico y los saberes adquiridos por las sociedades durante tantos años de sus entornos, debiendo enfatizar el derecho que tienen las personas de controlar sus propias situaciones (Zapata & Rondán, 2016; Rivero et al., 2021).

III. Preguntas De Investigación

Los sistemas especializados de producción de leche requieren de la suplementación de las vacas con grandes cantidades de concentrado, Barros et al. (2012) refirió que el follaje de *Leucaena leucocephala* contiene 29 % de proteína cruda, que es altamente digestible (63 % in vitro), y que su producción de biomasa permanece constante durante el año.

La incorporación de leguminosas arbóreas como *Leucaena leucocephala* en los sistemas silvopastoriles es una alternativa para incrementar la producción de leche.

Según Calsamiglia et al. (2010), la eficiencia de uso del nitrógeno en rumiantes es baja (~25 %); por lo que sus efectos en el medio ambiente por la excreción en la orina y en las heces representan un riesgo. (Powell et al. 2013)

Ruiz-González (2013),) menciona que la energía de la leche se incrementa según aumenta el nivel de *Leucaena* en la dieta de vacas cruzadas.

Por lo tanto, es necesario determinar el balance de nitrógeno y energía para optimizar la producción y calidad de leche.

1. ¿Cuál de las fuentes energéticas es más eficiente en la utilización de la proteína?
2. ¿Existe mayor aprovechamiento del nitrógeno por los suplementos energéticos y su disminución del nitrógeno en leche?
3. ¿Los suplementos energéticos mejoran la cantidad y calidad de leche?

IV. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas silvopastoriles donde uno de sus componentes es *Leucaena leucocephala* (*Leucaena*), una leguminosa nativa del sur de México y Centroamérica lo convierten en un valioso recurso para la alimentación de los animales. Debido a su alto contenido de proteína cruda (> 20%, García et al. 1996) y alta degradabilidad de la materia seca en el rumen (> 80%) (Barros-Rodríguez et al.2012), mencionan que el follaje de *Leucaena* se ha utilizado con éxito en vacas lactantes de doble propósito, reemplazando parcialmente el uso de concentrados costosos (Peniche-González et al.2014).

La *Leucaena* es consumida por las vacas y una gran cantidad podrían enfrentar ingesta excesiva de proteína cruda (PC) y altas pérdidas de nitrógeno en la orina (Bottini-Luzardo et al.2016), posiblemente debido al exceso de degradación ruminal de la proteína en relación con la disponibilidad de carbohidratos fermentables (Calsamiglia et al. 2010).

Poppi y McLennan (1995) encontraron que las pérdidas de proteína ocurrieron cuando el contenido de PC de la dieta superó los 210 g por kg de materia orgánica digestible (DOM).

El balance nutricional en rumiantes y la relación proteína-energía en la ingesta dietética total es el factor más importante relacionado con variaciones del nitrógeno ureico en sangre (BUN) (Pardo et al. 2008).

Ruiz-González et al. (2013) y Piñeiro-Vázquez et al. (2016) encontraron que tanto la excreción de nitrógeno urinario como de nitrógeno ureico en sangre (BUN) es

lineal debido al aumento de los niveles de *Leucaena* en dieta, lo que sugiere un uso ineficaz de nitrógeno en el rumen.

(Noro y Wittwer, 2012) encontraron que un exceso de N por encima de los requisitos en el ganado provoca un aumento en los requisitos de energía de mantenimiento debido al costo energético de síntesis de urea en el hígado. Además, es deseable sincronizar la disponibilidad de energía y nitrógeno en el rumen, para evitar pérdidas de nitrógeno que podrían ser finalmente excretadas en la orina (Herrera-Saldana et al. 1990).

La suplementación energética en el rumen es una forma propuesta de mejorar la eficiencia de la síntesis microbiana en este órgano (Poppi y McLennan 1995; Castillo et al. 2000). En los trópicos, varios recursos alimenticios se encuentran comúnmente y con éxito utilizado como suplemento energético para rumiantes, como la caña de azúcar melaza, sorgo en grano, pulpa de cítricos y pulido de arroz.

Sin embargo, el papel de esos suplementos para mejorar el rumen, fermentación y utilización de nitrógeno en dietas de *Leucaena* para las vacas lactantes de doble propósito aún es incierto. Aparte de sus diferencias en el costo y la composición química, estos suplementos tienen diferentes tasas y extensiones de fermentación ruminal, sugiriendo que podrían alterar la utilización de nitrógeno en diferentes extensiones.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar tres suplementos energéticos para conocer su eficiencia en la utilización del nitrógeno contenido en la dieta de vacas doble propósito alimentadas en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* (guach, guaje, leucaena) y *Digitaria swazilandensis* (pasto coloch, pasto suazi).

5.2. Objetivos específicos

Medir la respuesta productiva de vacas en pastoreo en un sistema silvopastoril suplementadas con diferentes concentrados energéticos.

Evaluar la cantidad de nitrógeno en leche como indicador de proteína en la dieta.

VI. HIPOTESIS

No existen diferencias significativas en la respuesta productiva de vacas suplementadas con concentrados energéticos, pastoreadas en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* (guach, guaje, leucaena) y *Digitaria swazilandensis* (pasto colochó, pasto suazi).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Localización del sitio experimental

Este estudio se realizará en el Rancho Mil Amores, en el municipio de La Concordia. Se ubica entre los límites de la Sierra Madre de Chiapas y de la Depresión Central, localizada en las coordenadas geográficas 15°41´N y 92°37´W. Pertenece a la IV Zona Frailesca del Estado de Chiapas. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y en la parte baja a semicálido húmedo.

7.2. Desarrollo del experimento

El experimento tendrá una duración de 56 días divididos en cuatro periodos de 14 días cada uno, dentro de los cuales los primeros diez días son de adaptación a la dieta y cuatro días son para toma de muestras.

Las variables de producción animal serán analizadas mediante un diseño experimental cuadro latino 4x4 repetido tres veces utilizando 12 vacas; para lo cual, las vacas se distribuirán en las filas y los periodos de evaluación dentro de las columnas, procurando que las características de las vacas sean similares entre ellas.

Las vacas permanecerán en pastoreo continuo durante todo el día, con libre acceso al agua.

Se pesarán las vacas al inicio y al final de cada periodo experimental, la condición corporal se tomará en una escala de 1-5 (Wildman et al., 1982).

La leche se pesará los últimos cuatro días de cada periodo experimental, utilizando accesorio medidor para la máquina de ordeño con capacidad de 31 Kilogramos, también los becerros menores de dos meses de edad previo al destete serán pesados antes y después de recibir amamantamiento posterior a la ordeña para determinar el consumo de leche residual, ambos datos se utilizan para hacer el cálculo de la producción láctea de las vacas.

7.3. Animales

Doce vacas Holstein x Cebú con 450 ± 50 kg de peso vivo medio, multíparas en su segundo tercio de lactancia serán utilizadas en este estudio, bajo un arreglo estadístico de cuadro latino 4x4. Previo al experimento, todos los animales serán desparasitados y vitaminados con productos comerciales.

7.4. Tratamiento y diseño experimental

Los animales serán pastoreados en las parcelas silvopastoriles durante todo el día y ordeñadas a las 6:00 horas todos los días.

Los tratamientos consistirán en la inclusión de tres suplementos energéticos a un nivel de 25 MJ EM/vaca/día. Los suplementos evaluados serán: T1= melaza de caña de azúcar (Mo), T2= grano de sorgo molido (So), T3= aceite de palma (AP), T4= Testigo (Ct), sin concentrado energético. Las dietas serán formuladas para satisfacer la energía necesaria para producir 10 kg / leche / vaca / día (AFRC 1993).

El diseño experimental será un diseño cuadrado latino de 4 x 4 con cuatro periodos de tiempo y repetido tres veces. Cada período constará de 10 días para adaptación a la dieta, seguida de cuatro días para mediciones.

7.4.1. Análisis bromatológico

Se tomará una muestra del potrero de Leucaena y pasto colacho (*Digitaria swazilandensis*) al inicio de cada periodo para determinar materia seca (MS,) secando en un horno a 60 ° C durante 48 horas hasta que alcance un peso constante (AOAC 1997). La Proteína cruda (PC), se determinará por el método de método de Kjeldahl. La fibra de detergente ácido (ADF) y la fibra de detergente neutro (NDF) se realizarán de acuerdo con Van Soest et al. (1991). El contenido de cenizas se determinará mediante incineración en un horno de mufla a 600 ° C durante 6 h. La concentración de energía metabolizable de los piensos se calculará mediante las ecuaciones CSIRO, (2007): $EM = 0.172 \text{ DIVMS} - 1.707$

7.4.2. Urea en leche

Para medir la urea en leche (MUN) se tomarán dos muestras de leche por animal, por período: en días 12 y 14. Estas muestras serán congeladas para enviarlos al laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarios y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del estado de México.

7.4.3. Rendimiento y composición de la leche

Las vacas se ordeñarán una vez al día a las 6:00 horas utilizando una ordeñadora y con el ternero al pie para estimular la leche. La producción de leche se realizara pesando la leche durante los últimos cuatro días de cada período, sin la presencia

del becerro. Para lograr el vaciado completo de la ubre se utilizó una inyección intramuscular de 20 UI de oxitocina. Las muestras de leche se tomaron 100 ml al ordeño y se analizaran en un equipo de leche ultrasónico Lactoscan (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria) para determinar las concentraciones de proteínas, grasas y lactosa.

La condición corporal se evaluará al inicio y término de cada periodo.

7.5. Análisis estadístico.

Los datos de producción y composición de la leche, la urea en leche (MUN), se someterán a análisis de varianza para un cuadrado latino (6 × 6); las medias serán comparadas por la prueba de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizarán utilizando el programa Minitab ver 16.

El modelo estadístico será

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{j(i)} + P_k + t_l + e_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} es la variable respuesta, μ es la media general, S_i es el efecto debido al cuadro, $C_{j(i)}$ es el efecto de las vacas anidadas dentro del cuadro, P_k es el efecto debido a los periodos, t_l es el efecto debido al tratamiento y e_{ijk} es el efecto de la variación residual.

VIII. RESULTADOS

Artículo publicado en la Revista Electrónica Nueva Época Veterinaria, ISSN:2448-6612.

USO DE SUPLEMENTOS ENERGÉTICOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL

USE OF ENERGY SUPPLEMENTS ON MILK PRODUCTION IN A SILVOPASTORAL SYSTEM

Joel Galvez-Luis^{1*}, Gilberto Yóng-Ángel², Carlos Manuel Arriaga-Jordan³, Felipe López-González³

¹Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

³Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México.

*autor correspondiente galvezluisjoel@gmail.com

ABSTRACT

A review was carried out on the use of energy concentrates that have been used to improve the use of *Leucaena leucocephala* protein, on milk production in silvopastoral systems (SSP). The inclusion of trees and shrubs with better forage potential and a greater amount

of protein, such as legumes, has the purpose of making livestock productivity more efficient. One of the problems found is that there is no synchrony between the use of protein and the amount of energy required for its use in milk production, so it is necessary to know the fermentative dynamics of the forage, in order to suggest adjustments in the energy content of the diet. In the tropics there are products and by-products that are used as energy supplements in the feeding of cattle such as molasses, sorghum grains, palm oil, among others; however, the role of these supplements in enhancing the fermentation and utilization of nitrogen in *Leucaena* diets for milk producing cows in dual-purpose system is still uncertain.

KEY WORDS: Energy concentrates, *Leucaena leucocephala*, silvopastoral system, protein-energy balance, energy supplementation, milk production.

RESUMEN

Se realizó una revisión sobre el uso de concentrados energéticos para mejorar la utilización de la proteína de *Leucaena leucocephala*, sobre producción de leche en sistemas silvopastoriles (SSP). La inclusión de árboles y arbustos con mejor potencial forrajero y mayor cantidad de proteína, como las leguminosas, tiene el propósito de eficientizar la productividad ganadera. Uno de los problemas que han encontrado es que no existe una sincronía entre la utilización de la proteína y la cantidad de energía que se requiere para su utilización en la producción de leche, por lo que es necesario conocer la dinámica fermentativa del forraje, con el fin de sugerir ajustes de energía de la dieta. En los trópicos existen productos y subproductos que son usados como suplementos energéticos en la alimentación del ganado bovino como la melaza, granos de sorgo y aceite de palma, entre

otros; sin embargo, aún es incierto el papel de estos suplementos para mejorar, la fermentación y utilización de nitrógeno en dietas con *Leucaena* para vacas productoras de leche en sistemas de doble propósito.

PALABRAS CLAVES: Concentrados energéticos, *Leucaena leucocephala*, sistema silvopastoril, equilibrio proteína-energía, suplementación energética, producción de leche.

INTRODUCCIÓN

La ganadería destaca por el uso de los recursos naturales, principalmente la tierra, que produce la biomasa forrajera para la alimentación de los animales. Para contrarrestar los efectos negativos de la producción ganadera, es prioritario fomentar una reconversión ambientalmente sostenible, que limite la transformación de ecosistemas y mantenga servicios ambientales, incorporando principios de manejo zootécnicos como la diversificación de animales domésticos en producción, combinar especies vegetales cultivables nativas y exóticas, además de mitigar la degradación del suelo controlando la carga animal (González- Padilla y Dávalos-Flores, 2018).

En los sistemas tradicionales de monocultivos con pastizales, con altos contenidos de fibra y baja cantidad de carbohidratos solubles, la conversión en productos de origen animal es poco eficiente. Solo entre 10 y 35 % de la energía consumida es capturada como energía neta, debido a que entre 20-70 % de la celulosa no puede ser digerida por el animal. Se requieren 12,8 g de nitrógeno kg⁻¹ MS en la dieta para garantizar el buen funcionamiento del rumen, según las características de los forrajes del trópico, por lo que es necesario suplementar con N para cubrir los requerimientos de los bovinos (Gaviria et al., 2015).

La inclusión de árboles y arbustos forrajeros en los SSP con mayor contenido de proteína (leguminosas), tiene como propósito alcanzar mayor eficiencia y productividad en la ganadería. Aunque el consumo de proteína a partir de un SSP es adecuado para la mayoría de los estados fisiológicos de los rumiantes; el contenido de fibra limita la productividad animal si no es degradada eficientemente en el rumen (Guzmán-Aguilar, 2019).

En ambientes tropicales es importante proporcionar a los animales raciones que induzcan bajo incremento calórico de alimentación. Los granos por su contenido de almidón inducen un bajo incremento calórico de alimentación en comparación con los forrajes ricos en celulosa. Los granos resultan caros para ser destinados a la alimentación de los rumiantes. La grasa contiene la más alta densidad energética y con más bajo incremento calórico, por lo que representa una opción para reducir la producción de calor metabólico durante períodos de estrés calórico en las condiciones tropicales (Ku-Vera et al., 2014).

En revisiones recientes, López-Vigo et al. (2017) argumentaron que los SSP brindan alta disponibilidad de forrajes para el ganado, equivalente a una dieta de 11-16% de proteína cruda (PC), permitiendo producciones lácteas de 10-12 kg/vaca/día y entre 3,000 y 16,000 kg/ha/año.

La *Leucaena leucocephala* es consumida por las vacas, y una gran cantidad podrían enfrentar ingesta excesiva de PC y altas pérdidas de nitrógeno en la orina (Bottini-Luzardo et al. 2016), debido al exceso de degradación ruminal de la proteína en relación con la disponibilidad de carbohidratos fermentables (Calsamiglia et al. 2010).

Es importante estudiar la dinámica fermentativa de los forrajes que componen los SSP con *Leucaena*, con el fin de conocer si se encuentran en equilibrio o es necesario adicionar

suplementos energéticos a la dieta de los animales (Gaviria, 2015). En los trópicos, existe variedad de recursos alimenticios que son utilizados como suplementos energéticos en bovinos, como la melaza, sorgo en grano, aceite de palma, entre otros. Aún, se desconoce los niveles óptimos de inclusión energética en un SSP, cuando los animales tienen acceso sin restricción a una pastura fresca y el concentrado se ofrece como un suplemento separado del forraje (Aguerre-Antía, 2015).

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica para conocer el uso de suplementos energéticos sobre eficiencia de absorción del nitrógeno en la dieta, la producción y la composición de leche, en vacas de doble propósito alimentadas en SSP con *Leucaena leucocephala* (guach, guaje, leucaena) y *Digitaria swazilandensis* (pasto colochó, pasto suazi).

RESULTADOS

Factores que afectan la producción de leche en la ganadería tropical

El sistema de producción ganadero de doble propósito (SDP) es una modalidad adaptada a los trópicos que contribuye de manera importante con el abasto de leche por medio del ordeño y carne por el amamantamiento de los becerros (Dios-Palomares y Morantes, 2014; Ruíz et al., 2008). El ordeño es manual, con el becerro al pie de la vaca para estimular la bajada de la leche (Vilaboa y Díaz, 2009). El nivel de producción de leche está en un rango de 3-10 litros vaca-1 día-1 (Salvador-Loreto et al., 2016). La principal fuente de mano de obra en los SDP proviene de la familia del ganadero (García-Martínez et al., 2015).

Las razas de ganado que predominan son *Bos primigenius indicus* y encastes con razas *Bos primigenius taurus*, como Holstein, Pardo Suizo y Simmental para potenciar la producción

de carne y leche (Vilaboa y Díaz, 2009). La alimentación del ganado se basa en el pastoreo extensivo en pastizales naturales (Salvador-Loreto et al., 2016) o en praderas establecidas con gramíneas en monocultivo (Bacab et al., 2013).

La producción de leche en los sistemas silvopastoriles

Un SSP es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de árboles y/o arbustos que interactúan con forrajeras herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral. Este sistema incrementa la productividad y el beneficio neto a largo plazo (López-Vigoa et al., 2017).

Diferentes autores, entre ellos, Shelton y Dalzell (2007), Tinoco-Magaña et al. (2012), Peniche et al. (2014), revelan aumentos significativos en la producción de leche y la ganancia de peso por animal y por hectárea cuando se introducen leguminosas en pasturas tropicales. El incremento en la producción animal por la asociación gramínea-leguminosa, en áreas con épocas de sequía bien definidas, puede deberse a una producción más estable de forraje a lo largo del año, donde Ruiz-González et al., (2013) comentan que en este tipo de pasturas la calidad del forraje disponible durante el periodo de sequía es mejor que en las constituidas por gramíneas. El mayor contenido de PC en la dieta de animales que pastorean en SSP no está relacionado sólo con el consumo de las leguminosas, sino también con la mayor cantidad de PC en las gramíneas que conforman la asociación (Aguilar-Pérez et al., 2007).

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) son rentables en producción de leche o carne porque se eleva hasta cuatro veces la producción pecuaria comparada con sistemas de pastoreo extensivo y también porque producen a menores costos que los sistemas

intensivos con pastos fertilizados, regados y con oferta de alimentos concentrados (Murgueitio-Restrepo et al., 2016). Implementar SSPi permite reducir los costos comparados con sistemas intensivos, al reemplazar el alimento concentrado en un 40% en vacas lecheras y reducir el uso de fertilizantes nitrogenados desde 300 ha⁻¹ año⁻¹ o más hasta cero (Molina et al., 2011; y Uribe et al., 2011). Los SSPi se destacan por reducir la estacionalidad de la reproducción (Sierra et al., 2015) porque el ganado tiene mejor alimentación en épocas críticas de sequía y porque sufre menos estrés calórico con reducción entre 6-14 °C en la temperatura de su entorno (Murgueitio et al., 2013).

Suplementación energética

El uso de aditivos es una alternativa de alimentación, que permiten incrementar el consumo de energía digestible aparente (ED) y energía metabolizable (EM), que son determinantes en la productividad de los bovinos (Mendoza et al., 2008).

La importancia de utilizar árboles forrajeros como suplementos, radica en su potencial como suplemento de proteína. Varios árboles y arbustos nativos de Mesoamérica (*Erythrina*, *Gliricidia*, *Leucaena*, *Guazuma*, *Prosopis*) contienen cantidades altas de PC en sus hojas (Ibrahim et al., 2005), sin embargo, para una utilización óptima, el ganado requiere fuentes de energía adicionales (López et al., 2000).

Flores-Cocas et al. (2016) encontraron que la suplementación energética utilizando pulido de arroz y melaza, incrementó el consumo de MS (3 kg-1MS-1día-1). El rendimiento lechero fue 13% más alto (P=0.048) en el grupo suplementado (7.86 kg-1vaca-1día-1) que en el tratamiento control (6.47 kg-1vaca-1día-1).

En otro estudio realizado por Arjona-Alcocer et al. (2020) evaluaron un tratamiento control, y suplementos basados en sorgo y pulido de arroz, donde se observó que el rendimiento de leche se incrementó un 42% en los animales alimentados con sorgo, sin observarse diferencias en los animales alimentados con pulido de arroz o melaza y pulpa de cítricos (control).

Martínez-Ramos y Monroy-Ochoa (2018) comentan que el glicerol proveniente del aceite de palma, en rumiantes proporciona un poco más de 2.000 kcal-1kg-1. Un litro de glicerol, equivale a 1,250 g de glicerol, gracias a su densidad. Su valor en energía neta es de 2,27 a 2,31 Mcal-1kg-1 de MS, siendo muy similar al grano de maíz (2,7Mcal-1kg-1) y a la melaza (3,2 Mcal-1kg-1), el glicerol puede incluirse en dietas mixtas para rumiantes hasta un 10% de la MS como sustituto de fuentes de almidón, sin afectar negativamente al entorno ruminal, la renovación de los nutrientes ruminales y la digestibilidad de los componentes de la materia orgánica en su totalidad (Shröder y Südekum, 1999).

Necesidades energéticas de los rumiantes

El cálculo de los requerimientos nutricionales y energéticos de los bovinos son complejos y cambian de acuerdo a la raza, sexo, estado fisiológico, peso, nivel de producción de leche y factores ambientales, aunque también intervienen la composición de los nutrientes y el valor energético de los alimentos que varía de acuerdo a las diferencias genéticas de la planta, estado fenológico, fertilización, irrigación y la época de corte (Mendoza et al., 2008; Obregón, 2013).

Para que un animal produzca carne y/o leche, también requiere de un balance adecuado de energía, por lo que el desgaste energético del animal afecta gravemente la producción, más

aún en un sistema de pastoreo en el que un animal puede perder hasta 12.48 Mcal/día (Jarquin, 2015). En zonas donde la época de sequía son muy marcadas, aunado a un pasto de baja calidad, la pérdida energética llega hasta 15.75 Mcal -1día-1, lo que muestra que todo el alimento consumido se gasta mayormente en la energía basal (Meneses-Figueroa y Villacrés- Matías, 2020).

Utilización de la energía por los rumiantes

En alimentos de origen vegetal, los lípidos se encuentran en bajas cantidades. Los forrajes frescos contienen fosfolípidos celulares y glucolípidos ricos en ácidos grasos esenciales, cuyo porcentaje puede alcanzar el 8-10 % de la materia seca (MS), representando el 60-80 % de los requerimientos energéticos del rumiante y que son cubiertos por los ácidos grasos volátiles (AGV) absorbidos y metabolizados en la mucosa ruminal (Relling y Mattioli, 2003). La digestión de las grasas consiste en procesos de hidrólisis realizado por lipasas bacterianas, por lo que empiezan en la boca, por acción de dichas enzimas que se encuentran en la saliva. Estos ácidos grasos (AG) y glicerol, sumados a alcoholes aminados derivados de los fosfolípidos y galactosa de los galactolípidos (Salas et al., 2015), sufren un proceso previo de biohidrogenación en el rumen, pasan al intestino delgado, combinándose con bilis y lipasa pancreática ayudando al proceso de digestión y filtración antes de ser absorbidos a nivel intestinal (Cabezas et al., 2016). La biohidrogenación ruminal en el metabolismo de AG, es en gran parte responsable de la diversidad de AG encontrados en leche y carne de rumiantes (Ferlay et al., 2017).

Los AG son fuente energética para las células, y de acuerdo a las necesidades, pueden ser usados de manera inmediata o almacenarse en los adipocitos en forma de ésteres derivados del glicerol para su uso a largo plazo (Aires, 2015; Chamorro et al., 2016).

El estado fisiológico y genética del rumiante, como también las condiciones ambientales y cubrir sus requerimientos nutricionales, son los principales factores que afectan el metabolismo de ácidos grasos en el tejido adiposo y hepático (Castillo-Vargas, 2019).

Eficiencia energética

La microbiota ruminal metaboliza los carbohidratos (H_2O) transformándolos, en AGV como acetato, butirato y propionato, produciéndose moléculas de hidrógeno (H_2) mismas que deben ser removidas, para mantener la eficiencia energética durante la fermentación anaerobia. Mantener una baja presión de H_2 en los sitios de fermentación, es una condición necesaria para la actividad de hidrogenasas bacterianas y la reoxidación de cofactores reducidos (NADH, NADPH, ferredoxinas), procesos imprescindibles para la continuidad de la actividad glicolítica microbiana, la fermentación, el consumo de alimento y la digestibilidad (Leng, 2014). Las principales vías de remoción de H_2 son la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados, la formación de ácido propiónico y de metano (CH_4) (Vargas et al 2012). La disminución en la producción de CH_4 , se lograría promoviendo rutas alternativas en las que se elimine H_2 durante la fermentación y/o inhibiendo las reacciones liberadoras de H_2 (Ortiz et al., 2014).

Ku Vera et al. (2014) mencionan que, en el ambiente ruminal, únicamente se generan 4-5 ATP's por mol de glucosa fermentada, de un potencial de 36 ATP's/mol en condiciones aeróbicas, representando el 10-12 % de su rendimiento. Esta limitante debe comprenderse

al intentar sincronizar la disponibilidad de energía e H₂ en el rumen en condiciones prácticas de alimentación, procurando extraer la mayor cantidad de energía útil de este sistema.

Manipulación del metabolismo ruminal

Los bóvidos dependen del producto de la fermentación microbiana ruminal, manipular esta fermentación ruminal de forma positiva mejora los productos finales, puede realizarse cambiando la ración, procesado de alimentos y/o usando aditivos. Con los aditivos se busca maximizar la cantidad de nutrientes fermentados, optimizar el perfil de los AGV, eficientizar la producción de proteína microbiana, así también minimizar la producción de CH₄, la acumulación de amoníaco y lactato (Castillejos-Velázquez, 2005).

La degradación de cada tipo de carbohidrato (H₂OC), posee características propias, son clasificados como de reserva (almidón), estructurales (pectina, celulosa y hemicelulosa) o azúcares (mono y disacáridos). Los H₂OC representan el componente más abundante en la dieta de los rumiantes. El tipo de H₂OC predominante en la dieta condiciona el desarrollo del tipo de flora adecuada para su fermentación y ajuste del pH al rango ideal (Relling y Mattioli, 2003). Los diferentes sustratos como el almidón y sacarosa puede afectar el patrón de fermentación, en particular la proporción de propionato, acetato (Ku-Vera et al., 2014) y grasa de la leche.

Utilización de suplementos energéticos

Bargo et al. (2003) reportan que las vacas durante su primer tercio de lactancia en condiciones de pastoreo sufren un importante déficit energético, porque no cubren los

requerimientos de producción láctea, generándose movilización de las reservas corporales, que afectan los parámetros productivos y reproductivos.

Actualmente a los bovinos en producción láctea y cárnica se les exige un elevado desempeño, conllevando mayores exigencias nutricionales, que no las suplen la dieta a base de forrajes, siendo una limitante nutricional la energía (Duarte et al., 2016).

Para incrementar la energía, generalmente se suplementa con granos de cereales (Schroeder et al., 2004), aceites o grasas protegidas (Gangliostro y Schroeder, 2007), cuando sea necesario realizar prácticas tendientes a reducir el incremento calórico de alimentación (Ku-Vera et al., 2014).

Melaza

Es un subproducto de la caña de azúcar que se utiliza como suplemento nutricional en bovinos, dado que es en una fuente de energía por excelencia, estimula el desarrollo de protozoarios ciliados, encargados de absorber los azúcares para retener energía y disminuir el crecimiento bacteriano (Quirola-Mendoza, 2020).

La importancia como suplemento energético para bovinos, se sustenta a partir de tres principios básicos, el costo, es fuente de energía de rápido aprovechamiento y el radical carbono que se une a las proteínas microbianas, que al pasar al intestino se consumen (Zalapa-Rios, 2009).

Aceites

El aceite de palma (AP) se obtiene de la almendra del fruto de la palma *Elaeis guineensis*, está constituido por AG de diferentes tipos, es usado en la alimentación humana y animal

(Bunge-Services, 2019). En bovinos se usa con orientación productiva hacia leche y carne, tiene propiedades glucogénicas en el hígado y riñones, proporcionando energía para el metabolismo celular (Nivia et al., 2020; Pons, 2015), por lo que se han considerado como estructuradores de la membrana celular, órganoprotectores y mediadores hormonales que son indispensables para la vida (Serrano y Calle, 2014).

En rumiantes una alternativa interesante, son los aceites esenciales, para reemplazar los promotores de crecimiento, reducir la contaminación ambiental y mejorar la producción, por su capacidad antimicrobiana, inhiben selectivamente parte de la microbiota ruminal resultando en una disminución de las pérdidas energéticas y/o proteicas a nivel ruminal (Castillejos-Velázquez, 2005).

Granos

Los cereales y subproductos son componentes principales de los concentrados usados para la suplementación de los rumiantes, porque son esencialmente concentrados energéticos, siendo el almidón el componente fundamental (Herrera-Saldana et al., 1990), su degradabilidad oscila entre 50-95 %, siendo los más bajos para sorgo y maíz, pero más altos para trigo y cebada (Offner et al., 2003)

La suplementación con cereales a animales en pastoreo, genera interacciones entre los alimentos, repercutiendo en cambios en el consumo y el ambiente ruminal, ocasionando variaciones en la cantidad de proteína microbiana que llega al duodeno, varía la digestibilidad total de la dieta y digestibilidad de las distintas fracciones del alimento. Aguerre-Antía (2015) reportó que los bovinos suplementados con sorgo presentaron mayor concentración plasmática de glucosa y menor concentración plasmática de glucagón que los

no suplementados. Esta mayor concentración de glucosa plasmática es por una mayor absorción de glucosa en intestino delgado y/o por una mayor gluconeogénesis en hígado o riñón (Aschenbach et al., 2010).

CONCLUSIÓN

Los SSP como alternativa productiva y ambientalmente sustentable, permiten la producción constante de forraje con alto contenido de PC, haciendo necesario un ajuste de energía en la dieta de las vacas en producción lactantes, mediante la inclusión de productos o subproductos alimenticios que contengan alta concentración energética, para promover la utilización adecuada del nitrógeno durante la fermentación ruminal y que a la vez evite un incremento calórico de alimentación. Es necesario llevar a cabo trabajos de investigación en el estudio de suplementos energéticos que equilibren los requerimientos de energía que mejoren la utilización de la proteína de *Leucaena leucocephala* en los SSP.

LITERATURA CITADA

Aguerre-Antía, M. (2015). Tesis: Efecto de la Especie Animal, del Nivel de Inclusión en la Dieta y de Tratamientos Aplicados sobre el Grano. Uruguay: Universidad de la República.

Aires, D., Capdevila, N., y Segundo, M. (2015). Ácidos grasos esenciales. Su influencia en las diferentes etapas de la vida. *Divulgación Sanitaria*, 30, 96–101. Retrieved from <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13073447>.

Aschenbach J.R.,Kristensen N.B.,Donkin S.S.,Hammon H.M., PennerG.B. (2010). Gluconeogenesis in Dairy Cows: The Secret of Making Sweet Milk from Sour Dough. *Life*, 62:869-877

Bottini-Luzardo MB, Aguilar-Pérez CF, Centurión-Castro FG, Solorio-Sánchez FJ, y Ku-Vera JC. (2016). Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *L. leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 4(3): 159-167.

Bunge Services. (2019). Bungen orthamerica. Obtenido de <https://es.bungenorthamerica.com/products/categories/96-aceites-vegetales>.

Cabezas, C., Hernández, B., & Vargas, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial Fat and oils: Effects on health and global regulation. *Rev. Fac. Med*, 64(4), 761–769. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>.

Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C., Kristensen, N. & van Vuren, A. (2010). Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*. 4(7):1184-96.

Castillejos-Velázquez, L. (2005). Modificación de la fermentación microbiana ruminal mediante compuestos de aceites esenciales. Bellaterra, Barcelona: Departamnto de Ciencia Animal y de los Alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona.

Castillo Vargas, J. A. (2019). Función y metabolismo de ácidos grasos en el tejido adiposo y hepático de rumiantes en producción: una revisión. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(2), 30-44.

Chamorro, A., Maryeli, P., & y Tamayo Maryi. (2016). Estudio científico sobre la adición de Omega-3 (DHA/EPA) para el mejoramiento cognitivo de niños menores de cinco (5) años (Corporación Universitaria Lasallista; Vol. 3). Retrieved from

http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1771/1/Estudio_cientifico_a_dicion_Omega3.pdf.

Dios-Palomares, r., Morantes, M. (2014). Eficiencia en la Ganadería de Doble Propósito. Recuperado el 5 de diciembre de 2020, de researchgate.net: https://www.researchgate.net/profile/Martina_Morantes/publication/306374517_Eficiencia_en_la_Ganaderia_de_Doble_Proposito/links/57bb54cc08ae51eef1f3d08e.pdf.

Duarte V., J., Ramírez Z, G., & Castañeda S, R. (2016). Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(2), 228-242.

Ferlay, A., Bernard L., Meynadier, A., Malpuech-Brugère, C. (2017). Production of trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review. *Biochimie*; 141: 107-120.

Gangliostro, G.A.; Schroeder, G.F. (2007). Efectos de la suplementación con sales cálcicas de ácidos grasos insaturados sobre la digestión ruminal en vacas lecheras en pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 15 (3):88 - 99.

García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., Avilés-Nova, F. (2015). Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia*, 49, 125- 139.

Gaviria, X; Naranjo, J; Barahona, R. (2015). Cinética de fermentación in vitro de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética, *Pastos y Forrajes*. Vol. 38, No. 1. enero-marzo. p 55-63.

González-Padilla, E., y Dávalos-Flores, J. L. (2018) Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. En González, P. Capítulo I. Recursos naturales y ganadería en el trópico. 356p.

Guzmán-Aguilar, F. (2019). El sistema silvopastoril intensivo, alternativa de ganadería sostenible. (D. G. Social, Editor) Recuperado el 14 de diciembre de 2020, de Gaceta UNAM: <https://www.gaceta.unam.mx/el-sistema-silvopastoril-intensivo-alternativa-de-ganaderia-sostenible/>

Herrera-Saldana R.E., Huber J.T., Poore M.H., (1990). Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci* 73:2386-2393.

Ku-Vera JC, Briceño EG, Ruiz A, Mayo R, Ayala AJ, Aguilar CF, Solorio FJ, y Ramírez L. (2014). Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 48, Número 1, p 43-53.

Leng, R. A. (2014). Interactions between microbial consortia in biofilms: a paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. *Animal Production Science*, 54: p. 519–543.

López-Vigoa O., Sánchez-Santana T, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M, Arece-García J y Milera-Rodríguez M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. 40 (2):83-95.

Martínez-Ramos, C. G., & Monroy-Ochoa, N. I. (2018). Tesis: Efecto de la suplementación con glicerol y torta de palmiste en la ceba de novillos en el Piedemonte Llanero. Villavicencio, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia, Campus Villavicencio.

Mendoza-Martínez, GD, Plata-Pérez, FX, Espinosa-Cervantes, R, & Lara-Bueno, A. (2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y ciencia*, 24(1), 75-87. Recuperado en 22 de noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000400009&lng=es&tlng=es.

Murgueitio-Restrepo, E., Barahona Rosales, R., Flores Estrada, M. X., Chará Orozco, J. D., & Rivera Herrera, J. E. (2016). Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23-30.

Nivia-Osuna, Alexander, Ramírez-Peña, Alejandra, Porras-Sánchez, Claudia Jineth, & Marentes-Barrantes, Diana Lorena. (2020). Glicerol: suplemento alimenticio y su respuesta en bovinos de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 807-819. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i3.39259>.

Obregón. L. (2013). Formulación de raciones para carne y leche desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste. Costa Rica. Intersedes.132.

Offner A., Bach A., Sauvart D. (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. And Technol.* 106:81–93.

Ortiz, D. M., Posada, S. L., y Noguera, R. R. (2014). Efecto de metabolitos secundarios de las plantas sobre la emisión entérica de metano en rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*, 26(11).

Peniche-González I.N., González-López Z.U., Aguilar-Pérez C.F., Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J. y Solorio-Sánchez F.J. (2014). Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research* 42:345-351.

Pons, G. A. (2015). Aceites vegetales, hacia una producción sostenible. *El Hombre y la Máquina* (4), 9-19

Quirola-Mendoza, G. B. (2020). Tesis: Efecto de la utilización de lodo de palma, melaza, urea y banano en diferentes combinaciones para el engorde de toretes Brahman mestizos. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Relling, A. E. y Mattioli, G. A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Buenos Aires, Argentina: EDULP.

Ruíz, C., Ávila, C., García, L., y Brunett, L. (2008). Sustentabilidad financiera: El caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. XII. No. 022.

Salas, J., Romero, M., & Villarino, A. (2015). Consenso Sobre Las Grasas Y Aceites En La Alimentación. Retrieved from http://www.fesnad.org/pdf/Consensosobre_lasgrasas_y_aceites_2015.pdf.

Salvador-Loreto, I., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G., Vicente, M. F., García-Martínez, A. y Albarrán-Portillo, B. (2016). Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 643-648.

Shelton, M. y Dalzell, S. (2007). Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Tropical Grasslands* 41:174-190. Serrano M, H.; Calle R, V. 2014. Lípidos: Características principales y su metabolismo. *Revista de actualización clínica*. 41:2142 – 2145.

Shröder, A., & Südekum, K.-H. (1999). Glycerol as a by-product of biodiesel production in Diets for ruminants. Recuperado el 9 de diciembre de 2020, de The Regional Institute online publishing: <http://www.regional.org.au/au/gcirc/1/241.htm>

Schroeder, G. F., G. A. Gagliostro, F. Bargo, J. E. Delahoy, L. D. Muller. (2004). Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livest. Prod. Sci.* 86: p.1-13.

Tinoco-Magaña J.C., Aguilar-Pérez C.F., Delgado-León R., Magaña-Monforte J.G., Kuvira J.C., Herrera-Camacho J. (2012). Effects of energy supplementation on productivity of dualpurpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Tropical Animal Health and Production* 44:1073-1078.

Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M. y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*, 61(R). p. 51-66.

Zalapa Rios, A. (2009). Suplementación proteica y con nitrógeno no proteico. Recuperado el 27 de noviembre de 2020, de Sitio Argentino de producción animal: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/42-melaza.pdf.

Artículo enviado a la revista Tropical Animal Health and Production (TROP-D-22-01174).

Evaluación de suplementos energéticos en vacas doble propósito en un sistema silvopastoril

Joel Galvez-Luis¹ , Carlos Manuel Arriaga-Jordán² , Gilberto Yong-Ángel¹ , Patricia Macias-Farrera¹ , Jair Jesús Sánchez-Valdés²  and Felipe López-González^{2*} 

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Chiapas,

²Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México.

Corresponding Author:

Felipe López-González

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR),

Universidad Autónoma del Estado de México,

Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo. Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México,

México. Tel / Fax: +52 (722) 296 5552/180 61 24/481 16 07.

E-mail: flopezg@uaemex.mx

Resumen

Los SSP son unidades de producción ganadera de manejo integral y representan una opción agroecológica sustentable. El objetivo fue evaluar tres concentrados energéticos sobre la eficiencia en la utilización de nitrógeno de la dieta, producción y composición de la leche.

Se usaron 12 vacas de doble propósito alimentadas en un SSP con *Leucaena leucocephala* y *Digitaria swazilandensis* aplicándoseles cuatro tratamientos, se suplementaron 25 MJ/vaca/día de sorgo, melaza y precursores gluconeogénicos, más el tratamiento control, utilizando un diseño experimental de cuadrado latino 4x4 con tres repeticiones siendo los periodos experimentales de 14 días y una duración total de 56 días. No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) para rendimiento y composición química de la leche ni para NUL. Respecto de los PV de las vacas y consumo de MS no existen diferencias significativas ($P>0.05$). El análisis de pastos muestra que existe diferencia significativa ($P<0.05$) para la concentración de PC de los periodos 4 y 3 respecto de los periodos 1 y 2. No existe diferencia significativa ($P>0.05$) para los valores promedios de rendimiento de MS, FDN, FDA, lignina y digestibilidad. Para leucaena se encontró diferencia significativa ($P<0.05$) sólo en rendimiento de MS, siendo el periodo 4 de mayor producción respecto de los periodos 1,2 y 3. No existe diferencia significativa ($P>0.05$) para PC, FDN, FDA, lignina y digestibilidad. Este trabajo permite entender la interacción del metabolismo de la PC respecto de la EM. Se concluye que los SSP aporta suficiente energía alimentaria a las vacas en producción para la GBDP.

Discusión general

La adición de energía en la dieta de las vacas en SSP no afecta de manera significativa ($P>0.05$) el rendimiento y composición química de la leche, lo que concuerdan con la hipótesis planteada.

Los resultados para rendimiento de leche se encuentran dentro de los rangos de producción para vacas de doble propósito pastoreadas en SSP en el trópico y coinciden con Esparza-Jiménez et al. (2021) quienes reportan que no existe diferencia significativa en producción de leche en vacas suplementadas en un SSP, con rendimiento de 7.7 kg de leche/vaca/día, por otra parte Arjona-Alcocer et al. (2020) en un estudio donde se incluyó melaza, sorgo y pulpa de cítricos como fuente de energía reportan resultados de rendimiento de leche de 4.1 kg de leche/vaca/día. Si comparamos los resultados que se obtuvieron en este estudio con los resultados de los trabajos anteriores, se observa un mayor rendimiento de leche.

Mitchell et al., (2005) mencionan que los niveles adecuados de nitrógeno ureico en leche se encuentran entre 10 y 16 mg/dL para una lactancia típica. El promedio en este trabajo fue de 6.02 mg/dL de nitrógeno ureico en leche (NUL), se encuentra por debajo de los parámetros mencionados lo cual nos indica que la ingesta de proteína cruda tanto de *Leucaena* como de *Digitaria* son relativamente bajos y que tal vez se requiere suplementar a los animales. El almidón del sorgo induce mayor aprovechamiento de la proteína, ya que este tratamiento arrojó el valor más bajo para el NUL, aunque no es significativo ($P>0.05$).

Se concluye que los SSP aporta suficiente energía alimentaria a las vacas en producción características de las explotaciones de doble propósito en los trópicos, sin embargo, los concentrados energéticos inducen ligeros cambios en los índices productivos y que, de acuerdo con los valores obtenidos de grasa, lactosa, proteína y NUL se infiere que la dieta que consumen las vacas del SSP se encuentra alrededor del 12 % de PC.

IX. LITERATURA CITADA

Aguerre-Antía, M. (2015). Tesis: Efecto de la Especie Animal, del Nivel de Inclusión en la Dieta y de Tratamientos Aplicados sobre el Grano. Uruguay: Universidad de la República.

Aguilar-Pérez Carlos, Solorio-Sánchez Francisco, Ku Vera Juan, Juan Magaña Monforte, Jorge Santos Flores. 2007. Producción de leche y carne en sistemas silvopastoriles. Bioagrocencias. Volumen 12. Número 1. P 1-8.

Alonso, J. 2011. 2, La Habana, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2011, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Vol. 45, págs. 107-115. 2.

Albicette-Bastreri, M. M., & Chiappe-Hernández, M. (2012). Una experiencia de investigación participativa en Uruguay. Agricultura, sociedad y desarrollo, 29-54.

Alvarado-Parrales, P. M. 2017. Balance de energía y nitrógeno en sistemas silvopastoriles ganaderos para la región Carrizal-Chone. Revista electrónica de Veterinaria – ISSN1695-7504. Volumen 18 N° 12.

Arjona-Alcocer Víctor Adrián, Aguilar-Pérez Carlos Fernando, Ku-Vera Juan Carlos, Ramírez-Avilés Luis, Solorio-Sánchez Francisco Javier. 2020. Influence of energy supplementation on dietary nitrogen utilization and milk production in cows fed foliage of *Leucaena leucocephala*. Tropical Animal Health and Production

Aschenbach J.R.,Kristensen N.B.,Donkin S.S.,Hammon H.M.,PennerG.B. (2010). Gluconeogenesis in Dairy Cows: The Secret of Making Sweet Milk from Sour Dough. Life, 62:869-877.

- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F. y Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67-81.
- Bargo, F.; Muller, L.; Kolver, E.; Delahoy, J. 2003. Invited Review: Production and digestión of suplemented dairy cows in pasture. *Journal Dairy Science* 86:1-42.
- Barros-Rodríguez M., Briceño P. E., Canul S. J., Sandoval C. C., Solorio S. J., Ku V. J. 2012. Sistemas Silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. *Bioagrobiencias* 5 (2): 21-25
- Bottini-Luzardo MB, Aguilar-Pérez CF, Centurión-Castro FG, Solorio-Sánchez FJ, y Ku-Vera JC. 2016. Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *L. leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 4(3): 159-167.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C., Kristensen, N. & van Vuren, A. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*. 4(7):1184-96.
- Castillejos-Velázquez, L. (2005). Modificación de la fermentación microbiana ruminal mediante compuestos de aceites esenciales. Bellaterra, Barcelona: Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Castillo, E., Ocaña, E., Mendoza, C., Gómez, R., Rubio, I., Livas, F. y Aluja, A. 2000. Complementos con base en melaza-urea para vacas de doble propósito del trópico veracruzano. *Vit. Mex.* 30:125

- Castillo-Vargas, J. A. (2019). Función y metabolismo de ácidos grasos en el tejido adiposo y hepático de rumiantes en producción: una revisión. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(2), 30-44.
- Castro, C., Sánchez, R., Iruegas, L., y Saucedo, G. 2001. Tendencias y Oportunidades de desarrollo de la red de leche en México. *FIRA Boletín Informativo*. Vol. XXXIII. No. 317.
- Crews T.E., y Peoples, M.B. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 279-297.
- CSIRO. 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia.
- de Blas, C., García Rebollar, P., Cambra López, M., & Torres, A. G. (2008). Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero. XXIV Curso de Especialización FEDNA (págs. 121 - 134). Madrid, España: FEDNA.
- Denoia, J., Bonel, B., Montico, S., Di Leo, N. 2008. Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias UNR*. Vol. 7(1-2). p. 43-56
- Duarte V., J., Ramírez, Z. G., & Castañeda, S. R. (2016). Grasa sobrepasante: Aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(2), pp. 228-242.

- Elliot, J. (2007). En Desarrollo Participativo de Tecnologías: Lecciones desde la experiencia práctica en la sierra del Perú (pág. 5). Lima: Soluciones prácticas ITDG.
- Ferlay, A., Bernard L., Meynadier, A., Malpuech-Brugère, C. 2017. Production of trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review. *Biochimie*. 141: 107-120.
- Fernández-Mayer, Anibal. 2017. Producción de carne y leche en sistemas silvopastoriles. 1a. edición. Buenos Aires, Argentina: INTA Ediciones, 2017.
- Flores-Cocas, J., Aguilar, C., Ramírez, L. 2016. Evaluación del rendimiento de leche y la calidad en vacas pastoreadas en un sistema silvopastoril y suplementadas con dos fuentes energéticas. Memorias cortas. I congreso internacional de ciencias veterinarias y zootecnias 2016. P 48-49.
- Gamma 2010 Programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible (PFPAS) programa de ganadería y manejo del medio ambiente (GAMMA) estudio determinación del balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad sp no: 14-2009. Informe final, junio del 2010.
- Gangliostro, G.A., Schroeder, G.F. 2007. Efectos de la suplementación con sales cálcicas de ácidos grasos insaturados sobre la digestión ruminal en vacas lecheras en pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 15 (3):88 - 99.

- García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., Avilés-Nova, F. (2015). Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia*, 49, 125-139.
- Gaviria, X; Naranjo, J; Barahona, R. 2015. Cinética de fermentación in vitro de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética, *Pastos y Forrajes*. Vol. 38, No. 1. enero-marzo. p 55-63.
- González-Padilla, E., y Dávalos-Flores, J. L. 2018 Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. En González, P. Capítulo I. Recursos naturales y ganadería en el trópico. 356p.
- Guzmán-Aguilar, F. (2019). El sistema silvopastoril intensivo, alternativa de ganadería sostenible. (D. G. Social, Editor) Recuperado el 14 de Diciembre de 2020, de Gaceta UNAM: <https://www.gaceta.unam.mx/el-sistema-silvopastoril-intensivo-alternativa-de-ganaderia-sostenible/>
- Peniche-González I.N., González-López Z.U., Aguilar-Pérez C.F., Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J. 2014. Milk production and reproduction of dual-purpose cows with a restricted concentrate allowance and access to an association of *Leucaena leucocephala* and *Cynodon nlemfuensis*. *Journal of Applied Animal Research* 42:345–351. DOI: 10.1080/09712119.2013.875902
- Herrera-Saldana R.E., Huber J.T., Poore M.H., (1990). Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci* 73:2386-2393.

Huertas-Vargas, E. Balance energético negativo. (2019). Repositorio Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado el 12 de noviembre de 2020, de <http://hdl.handle.net/20.500.12494/14629>

Ibrahim, M.A., Villanueva, C., M, C. 2005. Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. In: M. Mosquera-Losada, R. Rigueiro-Rodríguez and A. McAdam, (eds), *Silvopastoralism and sustainable land management*. CABI (UK), 13–18.

Inifap. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2002. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. Libro Técnico No. 5. 2ª Edición. México.

Jarquín, D. A., (2015). Implementación de un sistema de pastoreo rotacional intensivo con suplementación de precisión para la producción de leche con vacas Jersey. Zamorano. Honduras: Zamorano Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria.

Johnson, J.M., Franzluebbbers, A.J., Weyers, S.L., and Reicosky, D.C. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, 150(1), 107–124. Kamra, D.N. 2005. Rumen microbial ecosystem. *Current Science*, 89, 124–135

Ku-Vera, J.C., Briceño, E.G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A.J., Aguilar, C.F., Solorio, F.J., y Ramírez, L., 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 48, Número 1, p. 43-53.

- Leng, R. A. 2014. Interactions between microbial consortia in biofilms: a paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. *Animal Production Science*, 54: p. 519–543.
- López, S., Dijkstra, J., and France, J., 2000. Prediction of energy supply in ruminants, with emphasis on forages. In: D.I. Givens, R. Owen, R. Axford, and H. Omed, (eds), *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, (CABI, Oxford UK), 63–94.
- López-Ortiz, Silvia. 2018. ¿Qué es la ganadería sustentable? Halffter, G., Cruz, M. y Huerta, C. (Comps.) *Ganadería Sustentable en el Golfo de México*. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología A.C. México. pp. 65-75.
- López-Vigoa O., Sánchez-Santana T, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M, Arece-García J y Milera-Rodríguez M. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. 40 (2):83-95.
- Mayorga-Sánchez, J.Z., 2012. Medición de la productividad de las fincas productoras de leche del municipio de Ubaté Cundinamarca y su impacto en el uso de los recursos de uso común RUC. XVII Congreso internacional de contaduría, administración e informática. México D.F.
- McKee, T., McKee, J.R., 2016. *Metabolismo de los lípidos. Bioquímica. Las bases moleculares de la vida*, 5e. McGraw Hill. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1960§ionid=148096233>

- Melse, R. W., y Timmerman, M. 2009. Sustainable intensive livestock production demands manure and exhaust air treatment technologies. *Bioresource Technology*, 5506-5511.
- Mendoza-Martínez, G.D, Plata-Pérez, F.X, Espinosa-Cervantes, R, y Lara-Bueno, A. (2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y ciencia*, 24(1), 75-87. Recuperado en 22 de noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000400009&lng=es&tlng=es.
- Meneses-Figueroa, E. G., y Villacrés-Matías, J. C. (2020). Producción de carne y leche en bovinos a partir de estimaciones de aporte energético de especies forrajeras. *La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 32.
- Molina, C.H., Molina E.J., Giraldo C., Calle Z. y Murgueitio E., 2011. Resiliencia de los sistemas silvopastoriles intensivos a los efectos de cambio climático en el Valle del Cauca, Colombia. *Memorias, 3° Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la ganadería sostenible del siglo XXI*. [Morelia, Michoacán, México, 2-4 mar. 2011]. p. 208-214.
- Mota-Rojas, Daniel. 2017. La ciencia del bienestar animal y la medicina veterinaria. *Ganadería.com*. [En línea] Junio de 2017. [Citado el: 18 de Noviembre de 2020.] <https://www.ganaderia.com/destacado/La-ciencia-del-bienestar-animal-y-la-medicina-veterinari>.

- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribea, F., Calle, A., Solorio, B., 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands, *Forest Ecology and Management*, 261, 1654–1663.
- Murgueitio, E., J.D. Chará, A. Solarte, F. Uribe, C. Zapata y J.E. Rivera. 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. Universidad de Antioquia, Colombia, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (RCCP)* 26:313-316.
- Murgueitio-Restrepo, E., Barahona Rosales, R., Flores Estrada, M. X., Chará Orozco, J. D., & Rivera Herrera, J. E. (2016). Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23-30.
- Naranjo J.C., Cuartas C.A, Murgueitio E., Chará J., Barahona R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*.
- Navas-Panadero, Alexander. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. Bogotá, Colombia: *Revista de Medicina Veterinaria*, 2010, Vol. 19.
- Nieto, C; Ramos, V; Galarza, R. 2005. Sistemas Agroforestales aplicables en la Sierra Ecuatoriana, Resultados de una década de experiencias de campo. INIAP-PROMSA. Editorial NUEVA JERUSALEN. Quito-Ecuador. Boletín técnico N° 122. p 9-37.

Noro, M., y Wittwer, F. (2012). Interrelaciones entre ureagénesis y gluconeogénesis hepática en rumiantes alimentados con elevado contenido de nitrógeno. *Veterinaria México*, 43(2), 143-154.

Obregón. L. (2013). Formulación de raciones para carne y leche desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste. Costa Rica. Intersedes.132.

Offner A., Bach A., Sauvant D. (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. And Technol.* 106:81–93.

Ortiz, D. M., Posada, S. L., y Noguera, R. R. (2014). Efecto de metabolitos secundarios de las plantas sobre la emisión entérica de metano en rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*, 26(11).

Pardo, O., Carulla-Fornaguera, J. E., Hess, H.-D. (2008). Efecto de la relación proteína y energía sobre los niveles de amonio ruminal y nitrógeno ureico en sangre y leche de vacas doble propósito del piedemonte llanero, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21(3), 387-397.

Pérez, E, Soca, Mildrey, Díaz, L, Corzo, M. (2008). Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*, 31(2), 1.

Recuperado en 19 de noviembre de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942008000200006&lng=es&tlng=es.

Piñeiro-Vázquez, A. T., Lazos-Balbuena, F., Valencia-Salazar, S. S., Chay-Canul, A. J., Casanova-Lugo, F., Ayala-Burgos, F. J., y otros. (octubre de 2016). Efecto de la inclusión de *Leucaena leucocephala* sobre la excreción de nitrógeno y energía en la orina. Recuperado el 05 de Diciembre de 2020, de Reseachgate.net: <https://www.researchgate.net/publication/316442036>.

Poppi, D. y McLennan, S. (1995): Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J. Anim. Sci.* 73:278-290

Powell, J.M., Gourley, C.J.P., Rotz, C.A. y Weaver, D. M. (2010). Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy*, 13(3), 217-228.

Quirola-Mendoza, G. B., (2020). Tesis: Efecto de la utilización de lodo de palma, melaza, urea y banano en diferentes combinaciones para el engorde de toretes Brahman mestizos. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Resolución No. 0316., (2018). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. República de Colombia.1-8.

Relling, A. E. y Mattioli, G. A., (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Buenos Aires, Argentina: EDULP.

Rivero, M. J., Evans, A. C., Berndt, A., Cartmill, A., Dowsey, A., Farruggia, A., . . . Lee, M. R. (Octubre de 2021). Taking the steps toward sustainable livestock: our multidisciplinary global farm platform journey. *Animal Frontiers*, 52-58.

- Romero J C 2008 Metodología para estimar la remoción y la reducción de gases efecto invernadero por prácticas de manejo mejoradas en pastizales bajo el Estándar de Carbono Voluntario. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica 126 p.
- Ruíz, C., Ávila, C., García, L., y Brunett, L. 2008. Sustentabilidad financiera: El caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. Revista Mexicana de Agronegocios. Vol. XII. No. 022
- Ruiz-González, A., Ayala-Burgos, A.J., Aguilar-Pérez, C.F. y Ku-Vera, J.C., 2013. Efficiency of utilization of dietary nitrogen for milk production by dual-purpose cows fed increasing levels of *Leucaena leucocephala* forage mixed with *Pennisetum purpureum* grass. In: J.W. Oltjen, E. Kebreab, and H. Lapierre (eds), Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production, (Wageningen Academic Publishers), 121–122.
- Salvador-Loreto, I., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G., Vicente, M. F., García-Martínez, A. y AlbarránPortillo, B. (2016). Molasses supplementation for dual-purpose cows during the dry season in subtropical Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 643-648.
- Scheuermeier, U., Katz, E., & Stephanie, H. (Marzo de 2004). Finding new things and ways that work. A Manual for Introducing Participatory Innovation Development (PID). Lindau, Switzerland: LBL, Swiss Center for Agricultural Extension.

Schroeder, G. F., Gagliostro, G. A., Bargo, F., Delahoy, J. E., L. D. Muller. 2004. Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livest. Prod. Sci.* 86: 1-13.

Selener, D. (2006). Definiciones, suposiciones, características y tipos de investigación participativa con los agricultores. En J. Gonsalves, T. Becker, A. Braun, E. Fajbet, & R. Vernooy, *Investigación y desarrollo participativo para la agricultura y el manejo sostenible de recursos naturales* (págs. 5-17). Filipinas y Canada: CIP e IDRC.

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2015. *Manual de bienestar animal*. Buenos Aires, Argentina: SENASA, 2015.

Sierra, E., T. Ruiz, J., Chará, R. Barahona, y J. F. Suárez. 2015. Conducta reproductiva de vacas lecheras cruzadas pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos del bosque seco tropical colombiano. En *Memorias 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles y VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales*. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. INTA. 89 – 92 p.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., and Smith, J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Science*, 363, 789–813.

Uribe, F., A.F. Zuluaga, L. Valencia, E. Murgueitio, A. Zapata y L. Solarte. 2011. *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Manual 1. Proyecto

Ganadería Colombiana Sostenible (en línea). Bogotá, Colombia, GEF, The World Bank, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. 78 p. Disponible En: <http://www.cipav.org.co/pdf/1.Establecimiento.y.manejo.de.SSP.pdf>

Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M. y Carulla, J. 2012. Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. Archivos de Zootecnia, 61(R). p. 51-66.

Vilaboa, A. J. y Díaz, R. P. (2009). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical, 27(4), 427-436.

Wanapat, M., Sundstol, F., and Garmo, T.H. 1985. A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolizability. Animal Feed Science and Technology, 12, 295–309.

Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., Boman, MY., Troutt, H.F. and Lesch, T.N. 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. Journal of Dairy Science. 65: 495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6).

Zalapa-Rios, A., (2009). Suplementación proteica y con nitrógeno no proteico. Recuperado el 27 de noviembre de 2020, de Sitio Argentino de producción animal: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/42-melaza.pdf.

Zapata, F., & Rondán, V. (Diciembre de 2016). La investigación - acción participativa, guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña. Lima, Perú: Instituto de Montaña, conservación, cultura, comunidad.