

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

SUPLEMENTACIÓN DE VACAS CRIOLLO LECHERO TROPICAL

ÁNGEL RÍOS ORTIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO


2014

La presente tesis titulada: SUPLEMENTACIÓN DE VACAS CRIOLLO LECHERO TROPICAL realizada por el alumno: ÁNGEL RÍOS ORTIZ, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. CARLOS MIGUEL BECERRIL PÉREZ

DIRECTOR DE
TESIS



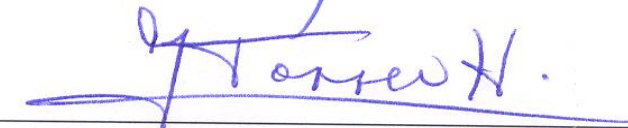
DR. ADALBERTO ROSENDO PONCE

ASESOR



DR. JAVIER FRANCISCO ENRÍQUEZ QUIROZ

ASESOR



DR. GLAFIRO TORRES HERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2014

SUPLEMENTACIÓN DE VACAS CRIOLLO LECHERO TROPICAL

Ángel Ríos Ortiz, MC

Colegio de Postgraduados, 2014

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la producción y composición de la leche de vacas CLT que pastorearon pará (*Brachiaria mutica*) (T1) y vacas que además del pastoreo fueron suplementadas con concentrado con 20 % de proteína total (PT) (T2), a razón de 1 kg por cada 5 kg d⁻¹ producidos de leche. El estudio se realizó en la región centro del Estado de Veracruz. Se utilizaron 24 vacas que se muestrearon durante 120 d. En un primer análisis las variables estudiadas fueron producción de leche por día (PL, kg d⁻¹), grasa (GR, %), proteína (PT, %), lactosa (LA, %), sólidos no grasos (SNG, %), sólidos totales (ST, %), nitrógeno ureico (NUL, mg dL⁻¹), conteo de células somáticas (CCS, miles mL⁻¹). En un segundo análisis las variables estudiadas fueron GRT, PTT, LAT, SNGT y STT en gramos por litro de leche producida (g L⁻¹). El ordeño fue manual una vez al día de 7:00 a 8:30 h con becerro al pie; la leche se pesó cada 21 d en una báscula de reloj. La composición química de una alícuota de 100 mL de leche se determinó por espectroscopia en el infrarrojo medio en un equipo Lacto Scope FTIR y el CCS por citometría de flujo en un equipo Soma Scope MK2. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM y MIXED del SAS. La suplementación con concentrado afectó la PL con 5.82±0.18 y 7.10±0.18 kg d⁻¹ para T1 y T2 (p≤0.05). No se encontraron diferencias (p>0.05) entre tratamientos para el porcentaje de la composición química de la leche, con medias de 3.44±0.14, 3.44±0.14; 3.36±0.05, 3.41±0.05; 4.78±0.04, 4.85±0.04; 8.86±0.07, 8.99±0.07; 12.30±0.16, 12.43±0.16; 10.43±0.44, 10.15±0.44 y 260.42±78.69, 195.21±78.69 para GR, PT, LA, SNG, ST, NUL y CCS. Sin embargo, en el volumen de producción de los componentes químicos de la leche se encontraron diferencias (p≤0.05) entre tratamientos a favor de T2, con medias de 20.06±1.24, 24.29±1.24; 19.55±0.71, 24.19±0.71; 27.77±0.89, 34.60±0.89; 51.52±1.69, 63.88±1.69; 71.53±2.84, 88.18±2.24 para GRT, PTT, LAT, SNGT y STT para T1 y T2. La suplementación no afectó los DPE, DA y NSPC con 113.8±12.43, 107.56±12.43; 149.10±19.93, 136.11±152.3 y 1.58±0.32, 1.70±0.30 respecto al tratamiento T1 y T2. La suplementación no afectó el Consumo de MS (g vaca⁻¹ d⁻¹) con 13861.0±490.2, 14406.0±479.4 respecto a T1 y T2. Sin embargo, si afectó la excreción fecal de MS (g vaca⁻¹

d¹) y la Digestibilidad de MS (%) con 4594.4±155.7, 5092.5±152.3; 66.2±0.7, 97.3±0.7 respecto a T1 y T2.

La suplementación incrementó la producción de leche, sin alterar el porcentaje de la composición química y el manejo reproductivo de las vacas pero si alteró el volumen de producción de los componentes químicos de la leche.

Palabras clave: Criollo, suplementación, climas cálidos.

SUPPLEMENTATION OF TROPICAL MILKING CRIOLLO COWS

Ángel Ríos Ortiz, MC

Colegio de Postgraduados, 2014

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the production and composition of milk from CLT cows pastured on Pará (*Brachiaria mutica*) (T1) and cows that besides pasturage, were also supplemented with concentrate with 20% of total protein (TP) (T2), at the rate of 1 kg per 5 kg d⁻¹ of milk produced. The study was conducted in the central region of the state of Veracruz. Twenty four cows were sampled for 120 d. In a first analysis, the variables studied were milk production per day (PL, kg d⁻¹), fat (GR, %), protein (PT, %), lactose (LA, %), non-fat solids (SNG, %), total solids (ST, %), urea nitrogen (NUL, mg dL⁻¹), somatic cell count (CCS, miles mL⁻¹). In a second analysis, the variables studied were GRT, PTT, LAT, SNGT and STT in grams per liter of milk produced (g L⁻¹). Milking was done by hand once a day from 7:00 to 8:30 pm with calf at foot; Milk was weighed every 21 d on a clock scale. The chemical composition of a 100 mL aliquot of milk was determined by spectroscopy in the mid-infrared in a Lacto Scope FTIR computer and the CCS was done by flow cytometry in a Soma Scope MK2 computer. The data were analyzed with the GLM and MIXED procedure of SAS. Concentrate supplementation affected PL with 5.82±0.18 and 7.10±0.18 kg d⁻¹ for T1 and T2 (p≤0.05). No differences (p> 0.05) between treatments for the percentage of the chemical composition of milk were found, with averages of 3.44±0.14, 3.44±0.14; 3.36±0.05, 3.41±0.05; 4.78±0.04, 4.85±0.04; 8.86±0.07, 8.99±0.07; 12.30±0.16, 12.43±0.16; 10.43±0.44, 10.15±0.44 and 260.42±78.69, 195.21±78.69 for GR, PT, LA, SNG, ST, NUL and CCS. However, differences were found in the production volume of the chemical components of milk (p ≤ 0.05) between treatments having better results for T2, with average of 20.06±1.24, 24.29±1.24; 19.55±0.71, 24.19±0.71; 27.77±0.89, 34.60±0.89; 51.52±1.69, 63.88±1.69; 71.53±2.84, 88.18±2.24 for GRT, PTT, LAT, and STT SNGT for T1 and T2.

Supplementation did not affect the DPE, DA and NSPC with 113.8±12.43, 107.56±12.43; 149.10±19.93, 136.11±152.3 and 1.58±0.32, 1.70±0.30 compared to T1 and T2.

Supplementation did not affect the consumption of MS (g cow⁻¹ d⁻¹) to 13861.0±490.2, 14406.0±479.4 compared to T1 and T2. However it affected the fecal excretion of MS (g

cow⁻¹ d⁻¹) and MS digestibility (%) to 4594.4±155.7, 5092.5±152.3; 66.2±0.7, 97.3±0.7 compared to T1 and T2.

Supplementation increased milk production without altering the rate of the chemical composition and reproductive management of cows but it altered the production volume of the chemical components of milk.

Keywords: Criollo, supplementation, warm climates.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por brindarme la oportunidad de lograr un objetivo más en la vida.

A mi familia

Mis padres, Bonifacio Francisco Ríos Bello y María Candelaria Ortiz Sánchez, quienes me infundieron el rigor que guían mi transitar en la vida.

Mis hermanos (as), Amelia, Rosita, Francisco, Atilano, Paula, Cleofas, Tilia, Candelaria y Seltsin.

Por su gran confianza, cariño y apoyo incondicional, este logro también es de ustedes. Gracias por confiar en mí y que siempre estaremos unidos. Dios los bendiga.

A mi consejo particular

Quiero expresar mi agradecimiento por su colaboración incondicional para llevar a cabo este trabajo en todo momento.

Al Dr. Carlos Miguel BECERRIL PÉREZ, agradezco su amistad, confianza y participación en la planeación, revisión y corrección del presente estudio.

Al Dr. Adalberto ROSENDO PONCE, agradezco su amistad, confianza y esfuerzo para la corrección y redacción de la Tesis.

Al Dr. Javier Francisco ENRÍQUEZ QUIRÓZ, por la confianza, conocimientos básicos para la planeación del trabajo de campo y sugerencias en la realización de esta investigación.

Al Dr. Glafiro TORRES HERNÁNDEZ, agradezco su amistad y confianza, por su colaboración para la realización del Proyecto de Investigación.

A mis amigos

MC. Froylan Rosales Martínez, MC. Roberto de Jesús Villatoro Salinas y Ing. David Rodríguez Olivares, por su confianza, amistad y apoyo que siempre me han brindado; y decirles que tienen un amigo que les brindará apoyo por siempre.

A don Andrés, que me brindó su amistad, confianza y apoyo en todo momento en el manejo de las vacas Criollo Lechero Tropical durante la fase experimental.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien financió mi estancia durante la maestría y parte del Proyecto de Investigación.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, quien financió el alimento comercial, la disponibilidad de infraestructura, praderas y animales CLT que incluyeron en el trabajo aquí presente.

A todos los que de alguna forma tuvieron participación en la elaboración de este escrito presente, por la amistad y apoyo incondicional.

Nochipa tlen nikhnemilia, nikijtoua iun nikchiua; ma kipaleui nochimej tokniuan inpan in taltijpak (Nahuatlajtojli; Ríos Ortiz A.)

CONTENIDO

	Pág.
RESÚMEN.....	<i>iii</i>
ABSTRACT.....	<i>v</i>
AGRADECIMIENTOS.....	<i>vii</i>
ÍNDICE DE CUADROS.....	<i>xii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS.....	<i>xii</i>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Producción de leche en México.....	2
2.2. Suplementación de vacas en pastoreo	2
2.3. Producción de leche en pastoreo	4
2.4. Las praderas en la producción de leche	8
2.5. Consumo de materia seca por animales en pastoreo	9
2.6. Digestibilidad y consumo de forraje.....	10
2.7. Regulación del consumo voluntario	10
2.8. Factores que afectan el consumo de materia seca	11
2.8.1. Factores dependientes de los animales.....	11
2.8.1.1. Tamaño corporal	12
2.8.1.2. Estado fisiológico.....	12
2.8.1.3. Condición corporal.....	13
2.8.2. Factores dependientes de las praderas.....	13
2.8.2.1. Sistema de pastoreo.....	14
2.8.3. Factores dependientes del ambiente	14
2.8.3.1. Condiciones ambientales	15
2.9. Técnicas para estimar el consumo voluntario.....	15
2.10. Reproducción de bovinos	18

2.11. Composición de la leche.....	18
2.12. Comportamiento productivo y reproductivo en Criollos.....	18
2.13. Generalidades del pasto para	20
2.14. Justificación.....	24
2.14.1. Problema de investigación	24
2.14.2. Justificación del problema.....	24
2.15. Objetivos.....	25
2.15.1. Objetivo general	25
2.15.2. Objetivos específicos.....	25
2.16. Hipótesis	25
2.16.1. Hipótesis general	25
2.16.2. Hipótesis específicas	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Localización del área de estudio	26
3.2. Animales utilizados	27
3.3. Manejo de animales.....	27
3.4. Suplementación	27
3.5. Consumo de forraje de la pradera	27
3.6. Análisis de laboratorio	28
3.7. Variables de respuesta.....	28
3.7.1. Producción de leche por día (PL, kg).	28
3.7.2. Composición química de la leche	28
3.7.3. Comportamiento reproductivo.....	29
3.7.4. Consumo de forraje	29
3.8. Análisis estadísticos	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Producción de leche individual y composición de leche.....	33

4.2. Manejo reproductivo de vacas Criollo Lechero Tropical	41
4.3. Consumo y digestibilidad de materia seca	42
V. CONCLUSIONES	43
VI. LITERATURA CITADA	43
VII. APÉNDICE	56

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición química de pasto pará (<i>Brachiaria mutica</i>) y concentrado comercial suplementado a vacas Criollo Lechero Tropical (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	32
Cuadro 2. Producción y composición química de la leche de vacas Criollo Lechero Tropical suplementadas en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	34
Cuadro 3. Producción y composición química de la leche por número de parto de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	37
Cuadro 4. Producción y composición química de la leche por grupo de inicio de lactancia de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	39
Cuadro 5. Comportamiento reproductivo de vacas Criollo Lechero Tropical suplementadas y sin suplementar (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	41
Cuadro 6. Consumo, excreción fecal y digestibilidad de la MS de vacas suplementadas y no suplementadas (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Datos climáticos durante la fase experimental. Fuente: Estación climatológica del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. N/12: noviembre de 2012, D/12: diciembre de 2012, E/13: enero de 2013, ..., J/13: julio de 2013.....	26

I. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en México es insuficiente para satisfacer la demanda interna. Una de las alternativas para superar esta deficiencia es aumentar la producción en la zona tropical cálida; esta zona representa del orden de 28 % de la superficie nacional y de ella se utilizan aproximadamente 37 % en producción animal (18'952,300 ha) y sirve de sustento a aproximadamente 12 millones de bovinos que producen del orden de 28 y 39 % de la leche y carne que se consume en México (Koppel, 1999).

El pastoreo es uno de los sistemas de producción de leche de bajo costo, sin embargo, la baja disponibilidad y calidad del forraje durante la época de secas son limitantes para que las vacas expresen su potencial de producción de leche (Thomas *et al.*, 1991). Ante esta adversidad, la suplementación es una alternativa útil para mejorar la alimentación de las vacas, mejorar su eficiencia nutricional y planear la producción deseada de leche en las diferentes épocas del año en consideración de los precios de la misma y sus derivados.

Phillips (2001) señaló que las concentraciones de algunos componentes de la leche, como la grasa y proteína, están directamente relacionados al consumo de energía y pueden ser incrementados con la suplementación de concentrado o mejorando la calidad de los forrajes.

La raza bovina Criollo Lechero Tropical (CLT) se caracteriza por su adaptación a la zona tropical cálida, tolerancia a enfermedades y habilidad para recorrer largas distancias en busca de alimento. Algunas de sus características incluyen piel gruesa y pigmentada, pelo corto, brillante y escaso, alta calidad de leche que le confiere alto rendimiento quesero (Santellano-Estrada *et al.*, 2011), longevidad en condiciones adversas (De Alba y Kennedy, 1994) y bajo número de servicios por concepción, entre otras (de Alba y Kennedy, 1994; Rosendo-Ponce y Becerril, 2002).

Domínguez *et al.* (2011) encontraron un incremento de 1.3 kg d⁻¹ en la producción de leche en un periodo de 90 d en vacas CLT de primer parto, suplementadas con 1 y 2 kg de concentrado comercial por cada 5 kg de leche producida corregida a 4 % de grasa. La base de alimentación fue el pasto pará (*Brachiaria mutica*), el ordeño se realizó a mano dos veces al día con apoyo del becerro. Pirela *et al.* (2010) encontraron que en vacas Criollo Limonero suplementadas con 2 kg d⁻¹ de concentrado, la producción aumentó 0.71 kg d⁻¹. Martínez Velásquez *et al.* (2012) reportaron producciones de 4.5, 5.0, 4.7, y 3.9 kg d⁻¹ de vacas Guzerat, Guzerat*Criollo, Criollo*Guzerat, y Criollo, con un nivel de suplementación de 1 kg por animal, para medir la producción de leche se utilizó la técnica de pesaje del becerro antes y después del amamantamiento.

Martínez Velásquez *et al.* (2010) encontraron que la suplementación no mostró influencia sobre la composición química (%) de la leche, pero sí en la producción total (g) de las mismas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de un concentrado comercial en la producción, composición química de la leche y el comportamiento reproductivo de vacas CLT alimentadas bajo un sistema de pastoreo rotacional de para (*Brachiaria mutica*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche en México

La producción de leche es la segunda actividad más importante dentro del sector pecuario del país (Valle y Álvarez, 1997). Sin embargo, ha sido insuficiente para satisfacer la demanda nacional debido al crecimiento desigual entre la producción y población humana, las crisis económicas, la dependencia tecnológica, y la falta de organización entre los sectores académicos, públicos y productivos que impacten la productividad, entre otros factores. Sin embargo, se considera que los dos factores más influyentes en la crisis del sector lechero mexicano son las políticas públicas hacia el sector, como el control de los precios (marcó un retroceso y estancamiento en el sistema lechero mexicano) y la importación masiva de grandes volúmenes de leche descremada en polvo (Tzintzun *et al.*, 1997; Ortiz *et al.*, 1997).

A partir de la década de 1970 y hasta el fin de 1997, se estableció una política de férreo control interno del precio de la leche, estableciendo precios tope (Castelán y Matthewman, 1996), lo que significó un impuesto negativo de alrededor del 50% en contra del productor nacional, debido a que los pequeños aumentos en el precio pagado al productor no estuvieron relacionados con los grandes incrementos en los costos de producción (Muñoz *et al.*, 1995; García, 1997).

2.2. Suplementación de vacas en pastoreo

Los forrajes son una fuente muy barata de nutrientes para el ganado lechero; su utilización acorde con su aporte nutricional y las necesidades del ganado permiten obtener una buena productividad y producción. En las regiones tropicales cálidas los forrajes disponibles disminuyen rápida y sensiblemente su composición química y valor nutritivo a través del

tiempo, y su disponibilidad para el ganado puede ser muy baja y no cubrir sus necesidades nutricionales, sobre todo durante la época de sequía, que puede durar hasta 8 meses.

La disponibilidad y el consumo de forrajes de baja calidad nutritiva pueden resultar en un déficit en el aporte de energía y proteína, entre otros nutrientes, para que el animal produzca a un nivel requerido, por lo que una alternativa para suplir esta deficiencia es el uso de suplementos concentrados disponibles.

La suplementación con alimentos concentrados durante la lactancia puede ser necesaria para compensar los requerimientos nutricionales de esta etapa, ya que si las demandas de energía no son provistas por el alimento consumido, las vacas lecheras entran en balance energético negativo y se afecta el rendimiento lechero (Goff y Horst, 1997).

La disponibilidad y calidad del forraje y del suplemento concentrado influyen en la magnitud de la respuesta potencial y en la tasa de sustitución de forraje por alimento suplementario (Kellaway y Porta, 1993). Entre los factores nombrados, la oferta de pradera por vaca por día y el nivel de concentrado tienen un gran efecto sobre el consumo total de alimento y sobre la respuesta en producción de leche (Peyraud y Delaby, 2001), permitiendo que la energía adicional consumida y el mejoramiento del balance de energía (Coffey, 2004) redujeran la movilización de tejido corporal. No obstante, existe información limitada sobre la cantidad adecuada de forraje que se debe ofrecer a las vacas lecheras posparto (Kennedy *et al.*, 2007). Para un uso efectivo del suplemento concentrado, se debe considerar la cantidad proporcionada y la respuesta en producción. (Kellaway y Porta, 1993). Las respuestas a la suplementación pueden ser lineales o curvas al aumentar el nivel de concentrado.

Das *et al.* (1999), reportaron que proporcionar 4.0 kg de concentrado diario por vaca aumenta la producción láctea y disminuye el intervalo parto primer estro. Para contrarrestar los efectos negativos de la menor disponibilidad de forraje durante la época de sequía, los productores pueden utilizar la suplementación proteínica y energética para la producción de carne y leche Rojo *et al.*, (2001). También se ha observado (Allison, 1985) que la adición de carbohidratos de fácil digestión provoca una disminución en el consumo voluntario de forraje; contrariamente, la suplementación proteica favorece la actividad microbiana ruminal, incrementando la digestibilidad y la velocidad de pasaje de la digesta y por ende del consumo.

La suplementación tiene como principal objetivo aumentar el consumo de materia seca (MS) y el consumo de energía respecto de aquellos que se pueden alcanzar con sólo pastoreo (Bargo *et al.*, 2002a; Bargo *et al.*, 2003).

Los objetivos específicos buscados en base suplementación son principalmente:

- Aumentar la producción de leche por vaca.
- Aumentar la carga y la producción de leche por unidad de superficie.
- Mejorar el uso de las praderas a través de mayores cargas.
- Aumentar el largo de las lactancias en épocas de producción de MS limitada.
- Aumentar el contenido de proteína en la leche a través de la suplementación energética (Bargo *et al.*, 2003)

Suplementar a los animales permite que puedan expresar su potencial genético para la producción láctea (Kolver, 2003); los suplementos con concentrados disminuyen el pH ruminal, lo cual se explica por un incremento en la cantidad de carbohidratos de rápida fermentación en la dieta. Sin embargo, el efecto sobre el pH ruminal en animales en pastoreo, es a menudo inconsistente y se ha reportado que éste bajo condiciones pastoriles, puede no variar en respuesta al incremento de cantidades de concentrado en la dieta (Bargo *et al.*, 2002a; 200b).

2.3. Producción de leche en pastoreo

Las gramíneas y leguminosas presentan una proporción variable de hojas, tallos y material muerto, una digestibilidad y concentración de nutrientes que varía con la edad de la planta y es distinta entre especies, existiendo también cambios entre estaciones (Hodgson y Brookes, 1999). El pastoreo de praderas permanentes, es de bajo costo, en comparación con los sistemas de alimentación en confinamiento. Es aceptado que en los sistemas basados en pradera, el bajo consumo de materia seca y energía, y la falta de sincronía en el rumen entre la energía y la proteína cruda aportada por el forraje, son los principales factores que limitan la producción de leche en pastoreo (Stockdale, 2000).

La calidad y cantidad de la pradera ofertada a estos animales, no es persistente a través del año, existiendo en los meses de menor temperatura una disminución en el forraje producido y hacia el verano una disminución en la calidad nutricional. Una mayor productividad es factible si se utilizan cargas animales adecuadas, concentrando la época de parto y haciendo coincidir los requerimientos de los animales con la curva de crecimiento de las praderas, conservando forraje y suplementando a los animales (Kolver, 2003).

Los suplementos por lo general son más costosos que la pradera en sí y se utilizan principalmente durante los períodos de déficit de nutrientes. En el pasado los más utilizados eran los provenientes de pradera conservada (heno y ensilaje) y cultivos. Hoy en día, sin

embargo, el ensilaje de maíz es usado extensamente y también subproductos de las industrias procesadoras de alimentos en general (Holmes *et al.*, 2002).

En la región tropical cálida, la producción de leche y carne puede ser influida negativamente por una deficiente alimentación del ganado (Lascano y Ávila, 1991). La alimentación de las vacas se complica debido a la marcada estacionalidad en el crecimiento del forraje, que ocasiona periodos alternos de escasez en la época de sequía y abundancia en época de lluvias (Hernández *et al.*, 1990; Valles *et al.*, 1992).

Por su tipo de fotosíntesis, las gramíneas tropicales de climas cálidos son C₄ y más eficientes que las gramíneas C₃ de clima templado. Esta cualidad de las gramíneas forrajeras tropicales, aunada a su crecimiento en forma más o menos continuo durante todo el año (siempre y cuando dispongan de suficiente humedad), les permiten producir cantidades importantes de biomasa, lo que las hace adecuadas para ser la base de la dieta del ganado lechero de las regiones tropicales cálidas. Las temperaturas altas a que crecen los forrajes tropicales, así como su exposición mayor a enfermedades y depredadores, son responsables de sus niveles altos de lignina y bajos de nitratos, proteína y carbohidratos no fibrosos, cualidades que hacen que sus valores nutricionales sean medios o bajos. En la región tropical existen cultivos agrícolas y subproductos agroindustriales que se pueden utilizar para complementar los forrajes, dentro de los mismos hay fuentes de energía, fibra y proteína. El uso de estos productos alternos permite mantener la carga animal y los niveles de producción de leche en épocas de escasez de forrajes, reducir los costos de producción (Sánchez, 2002).

Con respecto a la nutrición mineral, la relación entre los requerimientos del ganado lechero y los niveles de los mismos en los forrajes, indica que frecuentemente los forrajes no satisfacen las necesidades de calcio, fósforo, magnesio, zinc, cobre, selenio, cobalto y yodo. Así mismo, los niveles de potasio por lo general son elevados, pudiendo causar desórdenes metabólicos durante el parto (NRC, 2001). Sin embargo, el contenido mineral de las plantas varía con la fertilidad del suelo, el clima, la especie, su estado de madurez, capacidad de rendimiento y tecnología de manejo (Mc Dowell *et al.*, 1997).

Otra característica de los forrajes tropicales es la gran variabilidad que existe en la calidad nutricional de las diferentes estructuras dentro de una misma planta. Esto indica que los animales que se alimentan con pasturas tropicales deben tener una oferta mayor de forraje, para que puedan seleccionar su dieta. La calidad nutricional de las hojas y de los tallos se reduce más rápidamente con la maduración en los forrajes tropicales, que en los de clima templado (Van Soest, 1994).

Los sistemas de producción de leche en pastoreo se caracterizan por una producción a menor costo, como el caso de Nueva Zelanda, quienes basan la alimentación de sus animales en el forraje propio de las praderas y ensilado de pasto, utilizando muy poco grano, especialmente si el precio de la leche es bajo (McCall y Clark, 1999).

Aunque se reporta mayor producción de leche de vacas en confinamiento, alimentadas con una dieta con concentrados a base de granos y ensilado que en aquellas en pastoreo con nivel bajo de suplementación (38.1 vs. 28.5, respectivamente) (Bargo *et al.*, 2002), los costos de alimentación por kilogramo de leche producida son considerablemente más bajos cuando se reduce la utilización de concentrados (Albarrán, 2002); aunado al hecho de que cuando el forraje es “cosechado” directamente por los animales, se eliminan los costos de transporte, conservación y suministro (McCall y Clark, 1999), siendo este uno de los principales factores que están obligando a algunos ganaderos a adoptar el sistema de producción de leche en pastoreo en muchos países del mundo (Gloy *et al.*, 2002). En México el intervalo de la producción de leche en pastoreo bajo condiciones de la región tropical es de 12.6 a 18.1 kg por vaca y hasta 23 kg de leche vaca⁻¹ d⁻¹, dependiendo del tipo de pradera y de suplementación con ganado denominado doble propósito, así como de los días en lactancia de los animales; mientras que en estabulación para vacas estabuladas y especializadas se reportan promedios de producción de leche de 12.4 hasta más de 25 kg de leche vaca⁻¹ d⁻¹ (Améndola, 2002).

Otra ventaja importante del pastoreo se relaciona con el estado de salud de la vaca. Se han reportado menos casos de mastitis, aunque con condición corporal más baja cuando las vacas están en pastoreo (Washburn *et al.*, 2002), y menos problemas de daño en pezuñas (Hernández-Mendo *et al.*, 2007). Washburn *et al.* (2002) mencionan que el porcentaje de vacas con mastitis clínica fue mayor en vacas en estabulación que en aquellas en pastoreo (42.8 vs. 24.2 %), y que el porcentaje de animales eliminados durante un proceso de investigación a causa de mastitis fue mayor en los estabulados que en los de pastoreo (6.6 vs. 1.7 %). Esto último se debió básicamente a que las ubres de las vacas que pastoreaban estaban menos expuestas a los patógenos ambientales, principalmente a aquellos presentes en el estiércol. Sin embargo, la condición corporal de vacas en pastoreo fue menor que la de las vacas en estabulación (2.5 vs. 2.9), debido a la diferencia en el balance de energía, además de la mayor actividad física que tuvieron las primeras, tanto para trasladarse a la sala de ordeña como para alimentarse. Por otro lado, los ácidos grasos de la leche pueden cambiar con el tipo de alimentación de la vaca (Stockdale *et al.*, 2003; White *et al.*, 2001).

En vacas en pastoreo, cuando aumentó la cantidad de concentrado de 3 a 11 kg vaca⁻¹ d⁻¹, disminuyó considerablemente el porcentaje de grasa en la leche, de 4.2 a 3.2 % (Stockdale *et al.*, 2003). Sin embargo, White *et al.*, (2001) estimaron un porcentaje ligeramente mayor de grasa en vacas en estabulación (con una dieta a base de ensilado de maíz y alfalfa, semilla de algodón y maíz molido) que en pastoreo (3.7 vs. 3.4); además, el porcentaje de ácido linoleico conjugado, en relación al total de ácidos grasos, fue significativamente más alto en vacas en pastoreo que estabuladas (0.65 vs. 0.36 % y 0.73 vs. 0.37 %). Los ácidos linoleicos tienen propiedades farmacológicas anticancerígenas, regulan los lípidos plasmáticos, e influyen en el desarrollo neuronal y la función visual, entre otros (Benatti *et al.*, 2004; Parodi, 1997).

Los sistemas de pastoreo también contribuyen a conservar la fertilidad del suelo, al reintegrarse directamente en él los nutrientes contenidos en la orina y las excretas de los animales, por lo que los costos relacionados con la limpieza y manejo de desechos son menores comparados con aquellos observados en los sistemas estabulados (White *et al.*, 2001), reduciendo el uso de fertilizantes químicos y aportando una cubierta vegetal que contribuye a evitar la erosión del suelo.

La disponibilidad y calidad del forraje de la pradera son los dos factores más importantes que influyen directamente en la cantidad de nutrientes que obtiene la vaca en pastoreo. Sin embargo, las praderas, como única dieta, no suplen los requerimientos alimenticios en vacas de alta producción (Delahoy *et al.*, 2003; Kolver, 2003).

La disponibilidad de forraje en la pradera afecta el consumo de MS que puede realizar el animal. La relación entre la disponibilidad y el consumo de MS de pradera por el animal ha sido descrita como asintótica, sin embargo, no se conoce que disponibilidad es la adecuada para maximizar el consumo (Bargo *et al.*, 2003). Las vacas mantenidas bajo pastoreo requieren más energía de mantenimiento que aquellas en estabulación, debido a los menores niveles de actividad de éstas últimas. Dado este hecho, las vacas en pastoreo pueden requerir de 1 a 2 kg d⁻¹ de concentrado como un “costo fijo” por actividad sin un retorno concreto en producción de leche (Muller *et al.*, 2003)

Asimismo, para asegurar una buena producción láctea se recomiendan concentrados que contengan proteína no degradable en el rumen (PNDR) para complementar dietas basadas en pastoreo, que también contribuye a disminuir las pérdidas de nitrógeno (Sairanen *et al.* 2005). Bargo *et al.* (2003) indicaron que en animales mantenidos bajo condiciones de pastoreo, la cantidad de PNDR es función del consumo de MS de la pradera y del consumo de MS de suplemento y de sus respectivos contenidos de PNDR. Por otra parte, las especies

constituyentes de la pradera tienen una gran influencia en la cantidad de PNDR. Debido a que la EM es el primer nutriente limitante para la producción de leche de vacas de alto mérito genético en pastoreo, la suplementación podría ser necesaria para corregir la deficiencia en energía más que la de aminoácidos. Esto podría explicar la baja respuesta productiva en animales que consumen praderas de alta calidad, que son suplementados con PNDR (Kolver, 2003).

Sairanen *et al.* (2005) reportaron que en vacas en pastoreo, el consumo de EM o de algún aminoácido puede limitar la producción de leche. La producción puede estar limitada en algunos casos, por algún aminoácido en particular, principalmente metionina y lisina cuando se suplementa en base a granos, incluso cumpliéndose los niveles de PC y FDN recomendadas por el NRC.

Las praderas en la época de lluvias para la región tropical presentan entre 80 a 85 % de humedad, lo cual puede inducir una rápida tasa de paso de los alimentos a través del sistema digestivo, situación que es necesario corregir por medio de la incorporación de fibra.

El ensilaje de maíz puede ser un excelente forraje para complementar las praderas, ya que suministra energía extra a los microorganismos del rumen, ayudando a una mejor utilización del alto contenido de nitrógeno presente en épocas de crecimiento del forraje (Muller *et al.*, 2003).

2.4. Las praderas en la producción de leche

Lemus *et al.* (2002) mencionaron que la producción de materia seca en una pradera mixta es significativamente menor en invierno (1032 kg materia seca hectárea⁻¹) que en verano y otoño (1675 y 1724 kg materia seca hectárea⁻¹, respectivamente). En general, en estas dos últimas estaciones, el forraje consiste principalmente en hojas verdes, con una menor concentración de fibra y mayor digestibilidad de la materia seca (Hodgson y Brookes, 1999). Sin embargo, sí hay diferencias entre praderas de gramíneas únicamente, y asociaciones de gramíneas con leguminosas.

Entre las gramíneas introducidas naturalizadas en áreas de pastoreo, destacan los géneros *Panicum*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Hyparrhenia*, *Cenchrus* y en los últimos cinco años, han tenido importancia algunas especies del género *Brachiaria* y *Andropogon*; todas procedentes del continente africano (Enríquez *et al.*, 1999). La baja productividad de los pastos ha sido asociada a varios factores, entre los que destacan el consumo limitado de nutrientes digestibles, debido a que los forrajes tienen poca digestibilidad y concentración de nitrógeno, así como a las épocas de sequía que limitan el crecimiento y las condiciones

ambientales que causan estrés calórico en los animales (Stonaker, 1975). Para la región tropical de México en la época de lluvias (junio-octubre) el crecimiento y la producción de los pastos es mayor, el cual genera excedentes; sin embargo, el ganado no utiliza el pasto en forma óptima, ya que se desaprovecha un porcentaje considerable por efecto del pisoteo (esto puede cambiar si se hace p. ej. pastoreo en franjas). En la época de secas, el crecimiento y producción de los pastos es limitado y presenta escasez, por efecto de las bajas temperaturas, alta nubosidad y menor radiación (Meléndez *et al.*, 1980).

2.5. Consumo de materia seca por animales en pastoreo

Teóricamente, un animal debe consumir alimento hasta satisfacer sus requerimientos nutricionales, pero el consumo total es limitado por factores físicos y fisiológicos del animal y la planta, estrategias de manejo de plantas y animales y factores ambientales.

La cantidad de materia seca de forraje consumida es el factor más importante que regula la producción de los rumiantes a partir de forrajes. Así, Allison (1985) señala que el valor de un forraje en la producción animal depende más de la cantidad consumida que de su composición química. Minson (1990) define al consumo voluntario como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando a los animales se les ofrece alimento en exceso.

Asimismo, Chávez (1995) justifica la realización de estudios tendientes a analizar el consumo voluntario de forraje ya que este afecta más el estado nutricional del animal en pastoreo, que por el bajo valor nutricional del forraje.

De acuerdo con Hodgson y Brookes (1999), el consumo de forraje en los animales en pastoreo está determinada por distintos factores: 1) requerimientos nutricionales, que varían en función del peso vivo del animal y del estadio fisiológico, entre otros, 2) la saciedad que está determinada por la distensión del tubo digestivo que, a su vez, está en función de la cantidad, digestibilidad y tasa de digestión y de pasaje del alimento y, 3) el comportamiento en pastoreo, el cual es afectado por una combinación de factores propios de la pradera y del animal. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el consumo es resultado de una interacción entre los factores antes mencionados.

El tamaño corporal y el estado fisiológico de los rumiantes parecen ser los factores de mayor importancia que gobiernan el consumo voluntario del animal (Allison, 1985). Según Hodgson (1985), existen tres factores para controlar el consumo voluntario: metabólicos, físicos y etológicos, los cuales actúan simultáneamente en rumiantes en pastoreo y el impacto que tenga uno sobre el otro depende de la disponibilidad y características nutricionales del forraje y las condiciones ambientales.

La cantidad de forraje que puede consumir un animal está en relación directa con su peso, capacidad corporal y estado productivo. Sin embargo, la calidad del forraje (digestibilidad, contenido proteico, energético y fibra) determina en alto grado el consumo de forraje por animal. Sin embargo, en condiciones de excesivo calor y humedad, o falta de agua el consumo voluntario puede reducirse en forma drástica, afectando la producción animal (Díaz, 1988).

2.6. Digestibilidad y consumo de forraje

La digestibilidad y el consumo de forraje de los animales en pastoreo son los factores más importantes que determinan el nivel de producción (Montague *et al.*, 1986; Minson, 1990), pero existen grandes limitaciones para su estimación, debido a que los bovinos en pastoreo presentan una alta selectividad y los hábitos de pastoreo se pueden modificar por la salud del animal, las condiciones climatológicas y los factores etológicos (Mertens, 1987). Estas limitaciones han conducido a buscar métodos que se basen en cuantificar la concentración de marcadores internos en las heces y los forrajes (Galyean *et al.*, 1986).

2.7. Regulación del consumo voluntario

El consumo final diario de alimento por un animal en pastoreo es el resultado de la integración de una gran variedad de estímulos por el sistema nervioso central, y sus mecanismos de regulación son muy complejos, por lo que algunos de estos procesos aún no se conocen totalmente (Freer, 1981). ¿Esta argumentación sigue siendo válida después de 23 años? Utilice su criterio a la hora de dar antecedentes hacer análisis y conclusiones.

Existen varias publicaciones de revisión que documentan los factores que controlan el consumo voluntario de forraje (Greenhalgh, 1982; Allison, 1985; NRC, 1987; Minson, 1990; y Chávez, 1995, entre otros) coincidiendo en dos teorías responsables de la regulación del consumo: la teoría física, relacionada con la capacidad del tracto digestivo, y la teoría quimostática, basada en la densidad calórica de la dieta a nivel ruminal.

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

De acuerdo con Clark y Armentano (1997) y Allison (1985) dadas las características de la dieta de rumiantes en pastoreo, alta en fibra y baja en energía digestible, cobran importancia los efectos físicos de la distensión digestiva como limitantes del consumo voluntario, señalan

evidencias de que el consumo voluntario es limitado por la capacidad del retículo-rumen y por la velocidad de desaparición de la digesta en este órgano. La velocidad de desaparición depende de la velocidad de paso y de absorción, que a su vez dependen de las propiedades físicas y químicas del forraje.

Debido al paso rápido del agua por el rumen, la adición intraruminal de agua no afecta el consumo; sin embargo, el contenido de humedad de los forrajes, aparentemente, no tiene efecto sobre el consumo voluntario, aunque el nivel de humedad sí puede afectar la selectividad durante el pastoreo, ya que el animal prefiere los forrajes succulentos que los secos (Allison, 1985).

También se ha estudiado el efecto de la calidad de la dieta sobre el consumo; un factor nutricional primario que limita el consumo, es un bajo contenido de nitrógeno en la dieta. Allison (1985) indica que en dietas con forrajes toscos que contienen de 8 a 10 % de proteína cruda, el consumo es limitado aparentemente por la capacidad del retículo-rumen y la tasa de pasaje de la ingesta, y si la dieta excede 10 %, el consumo es afectado probablemente por otros factores metabólicos. Lo anterior fue confirmado por Mejía (2000) al probar diferentes niveles y fuentes de proteína en la dieta de bovinos y no encontró diferencias significativas entre tratamientos en el consumo voluntario de alimento.

Una mayor digestibilidad del forraje aumenta su consumo. Esta relación fue descrita por Ellis (1978) al señalar que existe un punto en el cual el consumo se estabiliza o bien tiende a decrecer, esto se observa cuando la digestibilidad excede de 66 %.

2.8. Factores que afectan el consumo de materia seca

El consumo de materia seca es fundamental para el desempeño productivo del ganado, ya que establece la cantidad de nutrientes disponibles para el animal (NRC, 2001). En un sistema de pastoreo la estimación del consumo es más difícil que en uno estabulado, ya que existen muchos factores que influyen en él, como la disponibilidad y digestibilidad del forraje, la suplementación, el llenado ruminal, el tipo de animal, y los factores ambientales, principalmente (Vázquez y Smith, 2000).

2.8.1. Factores dependientes de los animales

El consumo de alimento está en función de la fisiología del animal, por lo que aquellos en etapa de lactancia y/o crecimiento consumirán más alimento que los demás. El nivel de producción dentro de un grupo de animales con condiciones similares influye directamente en el nivel de consumo, de ahí que una vaca que produce 25 L d⁻¹ consumirá más forraje que una

que produce 15 L d⁻¹ (Hodgson, 1990). Hernández-Mendo y Leaver (2006), encontraron diferencias significativas en el consumo total de materia seca en vacas en pastoreo con diferentes niveles de producción de leche (consumo de 18.3 y 14.9 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹ con 34.5 y 22 kg de leche vaca⁻¹ d⁻¹, respectivamente), lo cual indica que en vacas con mayor producción de leche, el consumo de materia seca se incrementa.

Se ha observado que vacas primíparas consumen 80% del total consumido por vacas multíparas (Ingvarsen y Andersen, 2000). Al respecto, Kennedy *et al.* (2003), reportan que el número de parto de una vaca afecta el consumo de materia seca; encontraron consumos de 14.9, 17.7, y 20.9 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹ en vacas con 1, 2 y 3 partos; sin embargo, dicho consumo es similar entre ambos tipos de vacas en relación al peso vivo, ya que, en términos generales, las vacas primíparas son más ligeras que las multíparas (Johnson *et al.*, 2003).

Además, existe una gran cantidad de factores metabólicos involucrados en la regulación del consumo animal entre los que se encuentran nutrientes, metabolitos, hormonas reproductivas (estrógenos, progesterona), hormonas del estrés (factor liberador de corticotropina), leptina, insulina, péptidos intestinales (colecistoquinina), citocinas (factor de necrosis tumoral, interleucinas, interferones) y neuropéptidos (neuropéptido y galanina) (Ingvarsen y Andersen, 2000). También, el mérito genético de un animal influye en el consumo de materia seca, ya que vacas con alto mérito genético consumen más materia seca que aquellas con uno medio (Kennedy *et al.*, 2003). En una revisión de literatura realizado por Vázquez y Smith (2000), concluyeron que el consumo total de materia seca en vacas lecheras es del 2.8 % de su peso vivo; sin embargo, ello está en función de los factores ya mencionados.

2.8.1.1. Tamaño corporal

Si la capacidad física del tracto digestivo no es un factor limitante, el máximo nivel de consumo se manifestará por efecto de los requerimientos energéticos del animal. La demanda de energía es proporcional al tamaño corporal o peso metabólico, que se expresa elevando el peso vivo a la potencia 0.75 (NRC, 1987).

2.8.1.2. Estado fisiológico

Chávez (1990) cita que durante las fases de crecimiento y los ciclos reproductivos se presentan cambios importantes en los requerimientos de los animales en pastoreo. Las etapas

de preñez y lactancia representan un considerable incremento en la demanda de energía. Allison (1985) reportó diferencias en el consumo de materia seca entre vacas lactando, preñadas y secas; el consumo de animales lactando fue mayor que para vacas preñadas o secas y las vacas preñadas consumieron más que las vacas secas; también señaló que los animales jóvenes son más selectivos, prefieren forrajes con mayores niveles de proteína cruda y menores de fibra detergente ácido y celulosa al compararlos con las vacas adultas.

2.8.1.3. Condición corporal

Se ha señalado (Minson, 1990) que animales delgados comen más que los animales gordos, esto también se relaciona al consumo y crecimiento compensatorio, es decir, animales que pasaron por un período de subnutrición comen más por unidad de peso vivo que animales que estuvieron bien alimentados previamente.

2.8.2. Factores dependientes de las praderas

Una de las limitantes para el desempeño productivo de los animales en pastoreo es el logro de un consumo adecuado de forraje, y los factores más importantes que afectan el nivel de consumo son la disponibilidad y calidad del forraje (Leaver, 1987). Bargo *et al.* (2002a) observaron que el consumo de materia seca de vacas en lactancia pastoreando una pradera mixta de *Bromus inermis* L., *Dactylis glomerata* L. y *Poa pratensis* L., fue mayor cuando la asignación de forraje fue alta (40 kg materia seca vaca⁻¹ d⁻¹) que cuando fue baja (25 kg materia seca vaca⁻¹ d⁻¹), con consumos de 20.5 vs. 17.5 kg d⁻¹, respectivamente. Al disminuir la disponibilidad de forraje, el tamaño del bocado también se reduce y, aun cuando el tiempo de pastoreo y el número de bocados aumentan, el consumo de forraje es menor debido a que éste es resultado del tiempo de pastoreo, el número de bocados y el tamaño de éstos (Leaver, 1987).

El sistema de pastoreo también puede influir en el consumo de materia seca en las vacas. Pulido y Leaver (2003), reportan que el consumo de materia seca de forraje de pradera fue mayor en un sistema de pastoreo continuo que en uno rotacional (14.2 vs. 13.1 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹), a pesar de que la masa de forraje de este último fue mayor (2080 vs. 3570 kg de materia seca ha⁻¹), sin embargo, mencionan que dicha disminución pudo deberse a un menor tiempo de pastoreo y al manejo de los animales al cambiar de potrero.

Por otro lado, Ruiz *et al.* (1995), mostraron que la digestibilidad de la fibra del forraje influyó sobre el consumo de materia seca en vacas lactantes. El consumo de materia seca disminuyó linealmente cuando el porcentaje de fibra detergente neutro aumento de 31 a 39

%). Los mismos autores mostraron que la digestibilidad de la fibra detergente neutra y ácida fue menor cuando se trataba de un ensilado de sorgo (42.6 y 38.3 %) que de uno de maíz (56.9 y 55.2 %), estas diferencias en la calidad de un ensilado deben considerarse ya que influyen en la producción de leche.

Por su parte Wu *et al.* (2001) reportaron que el tipo de forraje de una pradera también influye sobre el consumo y la producción de leche. El consumo de forraje de vacas en lactancia en una pradera mixta (gramíneas y leguminosas) fue ligeramente mayor (10.9 kg vaca⁻¹ d⁻¹) que el consumo de una pradera con únicamente gramíneas (10.2 kg vaca⁻¹ d⁻¹), reflejándose en la producción de 20.4 vs. 19.1 kg leche vaca⁻¹ d⁻¹; además de que el contenido de fibra detergente neutra de la materia seca fue menor en la pradera mixta (47.5 %) que en la gramínea (54.1 %). Sin embargo, Soder *et al.* (2006) no encontraron diferencias significativas en el consumo de materia seca o en producción de leche en vacas en praderas mixtas de 2, 3, 6, o 9 especies.

2.8.2.1. Sistema de pastoreo

El objetivo de la tecnología del manejo de praderas es proveer al animal con suficiente pasto y así asegurar un buen tamaño de bocado o mordida (Minson, 1990). Sin embargo, Allison (1985) cita que no hay diferencias significativas en la producción animal entre un sistema rotacional y el pastoreo continuo. Como regla general, al incrementarse la intensidad del pastoreo, el ganado tiene menor oportunidad de seleccionar su dieta, debido a que se incrementa la velocidad de cambio de las especies y partes de las plantas preferidas. Así, la intensidad en el pastoreo incrementa los kilogramos de carne producidos por hectárea, pero disminuye las ganancias individuales por animal. También señala que con una alta intensidad de pastoreo, la calidad de las dietas disminuye, esto se atribuye a la reducción en la selectividad; por ende, las porciones más maduras y fibrosas de las plantas son consumidas, resultando una menor digestibilidad y contenido nutricional de la dieta.

2.8.3. Factores dependientes del ambiente

De acuerdo con el NRC (2001), el consumo de materia seca de vacas lactantes se afecta cuando la temperatura ambiental está fuera de la zona termo-neutral (entre 5 y 20 °C). West *et al.* (2003) reportan que existió una disminución lineal en el consumo de materia seca cuando la temperatura aumentó de 25 a 32 °C, con reducción de 20 a 15 kg de materia seca vaca⁻¹ día⁻¹. Sin embargo, este impacto en el consumo y la producción de leche puede reducirse con sistemas de ventilación y enfriamiento en las granjas (Arieli *et al.*, 2004).

Además, otros factores climáticos influyen en el consumo de un animal, tales como la humedad ambiental velocidad del viento, radiación y precipitación (Ames y Ray, 1983).

Por otro lado, se reporta que el cambio de un sistema de producción de leche estabulado a uno en pastoreo afecta negativamente el consumo de alimento y por consiguiente la producción de leche disminuye en cantidad y en tiempo, haciendo que las lactancias sean más cortas (Wu *et al.*, 2001).

2.8.3.1. Condiciones ambientales

De acuerdo con NRC (1981), cambios en el ambiente influyen en el comportamiento, función y productividad de los animales mediante un proceso complejo, que involucra tres aspectos: consumo voluntario de alimento y agua, valor nutritivo del alimento consumido, y requerimientos de energía para mantenimiento del animal. Así las condiciones ambientales afectan directa o indirectamente el nivel de consumo voluntario del alimento y la utilización de la energía metabolizable consumida. Principalmente la temperatura y la intensidad de la luz modifican la velocidad en la madurez de los forrajes y su contenido en paredes celulares, y por ende, el consumo por rumiantes en pastoreo. Es conveniente señalar que los cambios ambientales tienen un comportamiento estacional respecto al resto del año.

2.9. Técnicas para estimar el consumo voluntario

Todas las metodologías desarrolladas y empleadas hasta la fecha para cuantificar el consumo tienen limitaciones en precisión, tiempo y costo. Por lo que no es posible referirse a una determinación exacta de consumo, sino que es más correcto hablar como un índice estimativo de la cantidad de forraje consumido en condiciones de pastoreo. Al respecto se han publicado revisiones (Cordova *et al.*, 1978; Zorrilla, 1979; Le Du y Penning, 1982) que describen los métodos más utilizados para estimar el consumo voluntario de forraje, clasificándolos en forma muy general en métodos directos e indirectos.

Los métodos directos se refieren específicamente a: 1) estimación del consumo bajo condiciones controladas en jaulas individuales y 2) método telemétrico basado en transmisiones de presión mediante “botas” especiales que detectan los cambios de peso del animal (Minson, 1990).

En la categoría de los métodos indirectos se incluyen los más comúnmente utilizados en las determinaciones de consumo voluntario de forraje en pastoreo. Incluyen estimaciones de consumo utilizando medidas agronómicas, variables del comportamiento animal y la estimación de la porción no digerible del forraje y de la producción fecal mediante el uso de

indicadores externos e internos, o bien a través del uso de animales colectores de heces y de animales fistulados esofágicamente.

Las determinaciones de consumo voluntario utilizando medidas agronómicas consisten básicamente en la realización de cortes antes y después del pastoreo, y el diferencial representa la cantidad consumida por el animal. Este método es descrito por Zorrilla (1979), Meijs *et al.*, (1982), y Minson (1990). Su desventaja es que no considera los efectos asociados con el pisoteo, la selectividad del animal y el crecimiento del forraje.

Un segundo método indirecto para estimar el consumo voluntario de forraje incluye la utilización de variables de comportamiento como el tiempo de pastoreo, número de bocados por unidad de tiempo y el tamaño del bocado. Este método ha sido utilizado y discutido por Hodgson (1982) y Minson (1990); es conveniente señalar, que los datos obtenidos por este método presentan coeficientes de variación hasta de 50 %, que indica baja precisión del mismo (Zorrilla, 1979).

La técnica que se ha considerado como estándar por ser la más precisa, a pesar de ciertas desventajas relacionadas con el tiempo y costo, contempla la relación entre la cantidad total de heces producida por unidad de tiempo y la porción no digerible de la ingesta (Cordova *et al.*, 1978; Zorrilla, 1979). El grado de exactitud del método depende de la precisión con que se determine la producción diaria de heces y la digestibilidad de la dieta seleccionada por el ganado.

El volumen de heces producidas por el animal puede estimarse directamente mediante la colección total, e indirectamente con el uso de marcadores o indicadores. El primer método consiste en recoger todas las heces producidas utilizando bolsas colectoras especiales sujetas al animal mediante un arnés. La metodología de muestreo ha sido descrita con detalle por Zorrilla (1979), sugiriendo que las mediciones deben realizarse dos veces diarias para evitar grandes volúmenes de heces en la bolsa colectora.

La duración del período de muestreo, así como el número de animales necesarios han sido estudiados por Cordova *et al.*, (1978) y Le Du y Penning (1982), concluyendo que con un período de adaptación de 7 a 10 días, y 5 a 7 días de colección, utilizando 5 a 6 animales se obtiene información con buen grado de confiabilidad. Una desventaja de este método es el posible efecto negativo del equipo sobre el comportamiento animal; sin embargo, Chávez *et al.*, (1981) observaron que el uso de bolsas colectoras de heces no causó tensión significativa a los animales, habiéndose obtenido una producción fecal constante en el período de muestreo.

De cualquier manera, el método requiere de mucho tiempo y cuidados, por lo que es una técnica costosa y bajo ciertas condiciones poco práctica (Zorrilla, 1979). Un método alternativo para estimar la producción de heces lo constituye el empleo de marcadores o indicadores externos, los cuales son sustancias no naturales, no digeribles, no tóxicas, totalmente recuperables y de fácil cuantificación (Maynard *et al.*, 1981; Le Du y Penning, 1982). Pond *et al.*, (1987) señalan que los indicadores externos son utilizados con diferentes propósitos, tales como: determinación de la digestibilidad, estimación de la producción fecal, consumo voluntario y tasa de pasaje a través del tracto digestivo; los más utilizados han sido óxido de cromo (Cr₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃), sulfato de plata (Ag₂S) y compuestos de cromo (Cr), cobalto (Co) y elementos raros tales como iterbio (Yb), europio (Eu), disprosio (Dy), oro (Au), cerio (¹⁴⁴Ce), escandio (⁴⁶Sc), circonio (⁹⁵Zr), lantano (¹⁴⁰La), rutenio (¹⁰⁶Ru), itrio (Y), etc. (Le Du y Penning, 1982). A pesar de que se ha incrementado el uso de marcadores radioactivos, el óxido de cromo sigue siendo el indicador que más comúnmente se utiliza en estudios de consumo, digestibilidad y producción fecal (Chamberlain y Thomas, 1983; Clanton y Raleigh, 1987). Paterson y Kerley (1987) y Pond *et al.*, (1987) citan que el óxido de cromo es administrado al animal en una dosis conocida, posteriormente se realiza un muestreo periódico de heces, obteniéndose éstas directamente del recto, y luego se mide la concentración del marcador en las heces fecales; la producción de heces se calcula mediante la relación entre la cantidad administrada y recuperada utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Producción de heces (g/d)} = \frac{\text{dosis suministrada (g/d)}}{\% \text{ del marcador en heces}}$$

El grado de confiabilidad de esta estimación depende fundamentalmente de la cantidad de óxido de cromo recuperado en las heces. Es conveniente señalar que existen evidencias de que el óxido de cromo no sólo no se recupera totalmente, sino que presenta variaciones diurnas, las cuales tienen efecto directo sobre la concentración del óxido de cromo en las heces y por ende en los valores de producción total de las mismas (Pond *et al.*, 1987). Estos problemas se pueden mitigar administrando el marcador en cápsulas dos veces diarias o impregnado en papel una vez al día para que la excreción sea más uniforme (Zorrilla, 1979; Le Du y Penning, 1982). El marcador debe ser administrado al animal 4 a 7 días antes del período de colección que tiene una duración de 3 a 7 días (Zorrilla, 1979; y Pond *et al.*, 1987). Una vez que se ha estimado la cantidad total de heces producida diariamente, restaría

determinar la porción no digerible del forraje consumido, cuya estimación se realiza en forma indirecta conociendo la digestibilidad de la dieta seleccionada por el animal en pastoreo.

2.10. Reproducción de bovinos

Así mismo, al estar la vaca sometida a un balance energético negativo, se deprime la liberación del Factor Liberador de las Hormonas Gonadotropinas en el Hipotálamo, y por consiguiente la posterior liberación de las Hormonas Estimulante del Folículo y Luteinizante en la Hipófisis. Esta situación afecta la estimulación de los folículos y el patrón normal de pulsaciones de la Hormona Luteinizante requeridas para la maduración del folículo, la ovulación y la posterior función lútea del ovario. Afectándose así los índices reproductivos del hato de ganado lechero (Barton, 1996; Chandler, 1997; Pate, 1999). Para evitar los problemas antes discutidos debemos acudir a la suplementación energética (Sánchez, 2002).

2.11. Composición de la leche

Los componentes sólidos de la leche incluyen grasa, proteína, lactosa y minerales. Los valores normales para la grasa de la leche suelen oscilar entre 3.7% (Holstein) a 4.9% (Jersey); la proteína de la leche varía de 3.1% (Holstein) a 3.8% (Jersey). La lactosa es generalmente de 4.6-4.8 % para todas las razas; el contenido promedio de los minerales (cenizas) es de 0.74 %. De esta variación en la composición de la leche, el 55 % es debida a factores genéticos y el 45 % a factores ambientales como la etapa de lactancia, el nivel de producción de leche, edad de la vaca, el medio ambiente, el estado de salud y la nutrición (Grant, 2007).

Algunos componentes de la leche como la grasa y la proteína, están directamente relacionados con el consumo de energía en la dieta (Razz y Clavero, 2007). Esta energía puede ser aportada incluyendo alimentos concentrados en la alimentación de las vacas lecheras.

Comercialmente, los altos niveles de grasa y proteína en la leche representan un mayor valor económico, ya que más proteína conduce a un mayor rendimiento en la elaboración de productos lácteos derivados como el queso (Grant, 2007).

2.12. Comportamiento productivo y reproductivo en Criollos

En estudios anteriores se ha observado que el bovino criollo ofrece la posibilidad de sumar la rusticidad, a la capacidad productiva de las razas especializadas (Plasse *et al.*, 1975, de

Alba, 1964; 1985). El rendimiento de la leche es una de las características de mayor importancia para la selección del ganado lechero, la producción de leche a 305 d oscila en promedio de 1,111 a 1,797 kg en que raza(s) de ganado lechero? (Bodisco y Abreu, 1981; Rosendo, 1998). Las vaquillas criollas tienen su primer parto a la edad de 1,195 d (Bodisco y Abreu, 1981; de Alba, 1985; de Alba y Kenedy, 1994; Rosendo, 1998). La media de servicios por concepción es 1.57. El intervalo entre partos es de 390 a 420 d según número de parto, mientras más partos tenga una vaca el intervalo entre partos se acorta (Carmona y Muñoz, 1966; Pareira *et al.*, 1981).

El ganado bovino llegó por primera vez al hemisferio occidental en el segundo viaje de Colon. El primer grupo de ganado lo constituyeron cuatro terneras y dos novillos, que fueron introducidos a la isla de Cuba (referencia, citar). Aquellos animales fueron la base de la ganadería actual, participando en la formación de muchas de las razas criollas que actualmente existen en Latinoamérica tales como la Lechero Tropical, Costeño con Cuernos, Romosinuano y Limonero (Vaca *et al.*, 2002).

Los primeros bovinos traídos a México en 1521 procedían de las Antillas y fueron desembarcados en el hoy puerto de Tampico, Tamaulipas (Rouse, 1977). Estos animales se adaptaron a condiciones extremas, sobreviviendo en sabanas, montañas y valles, en ocasiones en estado semisalvaje, por lo cual desarrollaron características que le permitieron sobrevivir con una alimentación pobre, adaptándose a sequías, inundaciones y temperaturas y humedades relativas altas (de Alba, 2011).

Por otro lado, la adaptabilidad de estos genotipos a las condiciones tropicales puede expresarse en la sobrevivencia de las crías (Martínez, 1986) y en la fertilidad (de Alba, 1985). El ganado Criollo Lechero Tropical (CLT) proviene de animales introducidos a México en la década de los 60 por el Dr. Jorge de Alba. Desde esa fecha ha estado sujeto a un programa de registro de producción y mejoramiento genético del rendimiento lechero (Rosendo, 1998).

El hato Criollo Lechero en México se inicia con la importación de ganado de Turrialba, Costa Rica, que a su vez provino de Rivas, Nicaragua. Actualmente el hato más importante por sus registros genealógicos y de producción en general es propiedad del Colegio de Postgraduados y es parte de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Romosinuano y Lechero Tropical A. C. (AMCROLET). Algunos estudios han caracterizado las agroempresas de lechería familiar en México (Valencia y Velasco, 2000; Cervantes *et al.*, 2001) y las han comparado con las del sistema especializado (Odermatt y Santiago, 1997). La mayoría de estos trabajos consideran como criterios de caracterización el uso de los recursos, los costos

de producción, y el análisis de los factores que influyen en la productividad y la rentabilidad de las empresas.

El ganado CLT se caracteriza por su adaptabilidad al pastoreo, alta fertilidad, gran habilidad materna, resistencia a parásitos externos e internos, pelo corto con menos de 1 cm de largo, escaso y brillante, piel gruesa y pigmentada, arrugas alrededor de los ojos, cuello y ocasionalmente en la frente, canal de parto muy amplio, inserción de la cola descarnada, borla de la cola con escaso pelo, manto bayo o rojo con o sin cabos negros y peso al primer parto de aproximadamente 350 kg (Rouse, 1977).

2.13. Generalidades del pasto pará

Nombre científico:

Brachiaria mutica

Sinónimos:

Urochloa mutica (Forssk.) T.Q. Nguyen

Panicum barbinode Trin

Panicum muticum Forssk.

Panicum purpurascens Raddi

Familia:

Poaceae (*Graminea*)

Subfamilia:

Panicoideae

Tribu

Paniceae

Nombre comunes

Pará, Búfalo, Césped Holandés, Sofá Gigante, Escocés, Señal de Mauricio, Angola, Hierba de Pará, Papare y Malojilla, Gramalote, Paraná, Egipto.

Existen los siguientes cultivares de *B. mutica*:

Brasil: Común, Fino.

Zaire: Lopori.

República de Cuba: Pará y aguada.

Estado de Tabasco: El común, que se le denomina Egipto o Pará; y otro ecotipo que es menos vigoroso pero de hojas y tallos más finos, que se le localiza principalmente en sitios donde se tienen láminas de agua permanentes.

Características morfológicas

El pará es un pasto perenne de hábito rastrero, con estolones largos y gruesos de hasta 6.0 metros de longitud, muy peludo. Sus tallos son decumbentes y suaves, las hojas moderadamente peludas de hasta 20 mm de ancho y 30 cm de largo. La vaina de la hoja tiene un collar densamente peludo. La inflorescencia presenta una panícula de 60-cm de largo, que comprende de 5-20 racimos densamente florecidos de 2-15 cm de largo, basales, con espiguillas pares de 2.5-5.0 mm de largo en varias filas irregulares. Los estolones y las ramas se arraigan con facilidad en los nudos. Sus tallos en la parte interna son huecos.

Origen

A este pasto se le considera originario de las llanuras inundables en los bosques tropicales de África Subsahariana. En la actualidad se encuentra ampliamente distribuido en las regiones tropicales cálidas. En México se localiza principalmente en los estados de Tabasco, Veracruz, Chiapas, y sur del estado de Campeche.

Requerimientos edafoclimáticos

El pasto Egipto o Pará tiene su hábitat en suelos de mucha humedad, se le ubica con frecuencia creciendo en forma vigorosa en los márgenes de lagos, ríos y en lugares donde se encharca el agua con frecuencia. Está bien adaptado a una amplia gama de tipos de suelo (desde arenosos hasta arcillosos) de moderada a buena fertilidad.

Si bien se encuentra adaptado a terrenos de mal drenaje (pantanosos o inundados estacionalmente) en las zonas tropicales y subtropicales cálidas, también crece de manera productiva en los suelos libres de drenaje en zonas de altos regímenes de precipitación (superior a 2500 mm anuales). Tolera la sanidad moderada, el pH de 4.5; y soporta altos niveles de elementos traza, que normalmente se producen bajo el agua.

Crece en regiones subhúmedas con 1 200 – 4 000 mm anuales de lluvia. También se desarrolla en áreas pantanosas de ambientes más secos, con lluvias de hasta 900 mm anuales, pero no tolera condiciones de sequía prolongada.

Soporta inundaciones de largo plazo, su tolerancia a la profundidad del agua está relacionada con la temperatura de ésta. Tolera profundidades de hasta 1.2 m en los trópicos, pero solo hasta 30 cm de profundidad en las regiones subtropicales.

Sus hojas pilosas y tallos huecos tienen la propiedad de flotar sobre el agua, pero las raíces no pueden tolerar la inmersión continua. Desarrolla raicillas adventicias en condiciones de inundación. Tiene su crecimiento óptimo cuando se presentan altas temperaturas; su crecimiento se ve restringido por temperaturas inferiores a 15 °C, es muy sensible a las heladas. La hoja muere en presencia de heladas, pero las plantas pueden recuperarse. El pará es un pasto moderadamente tolerante a las sombra, prefiere estar a pleno sol.

Cuando se emplea en pastoreos severos, puede presentarse fuerte invasión de malezas especialmente de los géneros *Cyperus spp* y *Sida spp*. Es conveniente mantener una altura o tocón de planta por arriba de los 20 cm, esto con el fin de evitar la invasión de malezas en las praderas.

Es una especie resistente a las quemas, cuando se hace esta práctica durante la época de secas la planta se recupera bien.

Propagación

Si bien el pasto Egipto se puede propagar por semilla, hay que resaltar que es de muy baja calidad, y en México no se tienen antecedentes de que se pueda propagar por esta vía, además hay que considerar que la semilla no está disponible. La forma de propagación es por medio vegetativo, para lo cual se usan trozos de guías o estolón que tengan de 4 a 5 nudos, este es un medio muy seguro para establecer una pradera de pasto pará.

Plagas y enfermedades

En plagas, el gusano falso medidor (*Mocis latipes*) puede provocar severos daños especialmente durante la época de sequía. Otra plaga que ataca este pasto es la escama de los pastos (*Antonina graminis*). En enfermedades, la fumagina (*Capnodium sp*) puede dañar los brotes nuevos en las hojas, así como el tizón de la vaina.

Valor nutritivo

El Egipto tiene un alto valor nutritivo, aunque el consumo de materia seca por los animales puede ser reducido a los altos contenidos de agua, incluidas las gotas que son retenidas en las hojas peludas y tallos. Durante el periodo de crecimiento activo, el pasto puede tener un valor nutritivo muy alto, con 14 a 20 % de proteína cruda y digestibilidad de la materia seca que varía de 65 a 80 % en las hojas y 55 a 65 % en la planta integral; pero en plantas maduras la digestibilidad de la MS puede variar de 35 a 45 %.

Las hojas de este pasto son muy apetecibles en pastoreo, sin embargo, los animales generalmente realizan un pastoreo selectivo ya que los tallos y estolones maduros suelen ser menos palatables. No hay reportes de que el pasto Pará tenga algún problema de toxicidad.

Producción animal

En condiciones de humedales o bajo condiciones de riego, las ganancias de peso vivo pueden variar de 300 a 800 kg ha⁻¹ por año, y los novillos en pastoreo han obtenido ganancias por animal de 0.8 a 1 kg d⁻¹ con cargas de 3 cabezas por hectárea. Sin embargo, las ganancias más comunes se encuentran entre los 500 y 600 g diarios por animal y por hectárea de 400 a 600 kg año⁻¹. Uno de los inconvenientes que se ha observado en el Pará es que no soporta fuertes cargas animal, se considera que no se deben emplear más de 3 cabezas ha⁻¹ año⁻¹, ya que con cargas más altas el pasto podría desaparecer Melendez *et al.* (2012).

2.14. Justificación

2.14.1. Problema de investigación

Los conocimientos de la calidad de la leche de vacas Criollo Lechero Tropical son escasos, se pretende conocer la composición química de la leche de vacas en pastoreo y suplementadas a lo largo de su lactancia, así como conocer la respuesta reproductiva de las mismas.

2.14.2. Justificación del problema

Conocer el comportamiento productivo y reproductivo de las vacas Criollo Lechero Tropical bajo un sistema de producción de pastoreo controlado y suplementación para la mejora de la producción y calidad de leche juntamente con el manejo reproductivo. Las vacas se reproducen y producen leche bajo condiciones climáticas adversas.

Este problema se justifica por las siguientes razones:

Producción de leche en sistemas de pastoreo, conociendo la composición química de la leche y el comportamiento reproductivo de las vacas durante la época de sequía.

El ganado Criollo Lechero Tropical es una raza del *Bos Taurus*, por su gran adaptabilidad al trópico Mexicano existe la necesidad de ampliar los conocimientos de esta raza, esta investigación está enfocada al estudio de la suplementación y su efecto en la reproducción. El propósito de suplementar concentrados a la alimentación de las vacas lecheras es de proveer una fuente de energía y proteína adicional a los forrajes disponibles y cumplir con los requerimientos nutricionales de las vacas lecheras a través de la lactancia.

2.15. Objetivos

2.15.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la suplementación en la producción de leche y reproducción de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo

2.15.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la producción de leche por vaca.
2. Evaluar la composición química de la leche.
3. Evaluar la reproducción de las vacas.

2.16. Hipótesis

2.16.1. Hipótesis general

La suplementación, aumenta la producción de leche y mejora la reproducción de vacas lactantes.

2.16.2. Hipótesis específicas

1. Las vacas suplementadas producirán 1 kg d^{-1} más de leche que las vacas no suplementadas.
2. La suplementación cambia la composición química de leche disminuyendo el contenido de sólidos.
3. Las vacas suplementadas mejoran su comportamiento reproductivo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, localizado en la comunidad de Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, a 19° 16' N y 96° 16' O, a una altura de 20 msnm. El clima de la región es $Aw_0(w)(i')gw''$, cálido subhúmedo con lluvias en verano, distribuidas de mayo a octubre, precipitación media anual de 1060 mm y temperatura de 26.4 °C (García, 1988). En la Figura 1 se presentan temperaturas y precipitación pluvial medias mensuales registradas durante el periodo experimental. Como se observa, la precipitación mensual fue menor de 25 mm en siete de los nueve meses que duró el estudio.

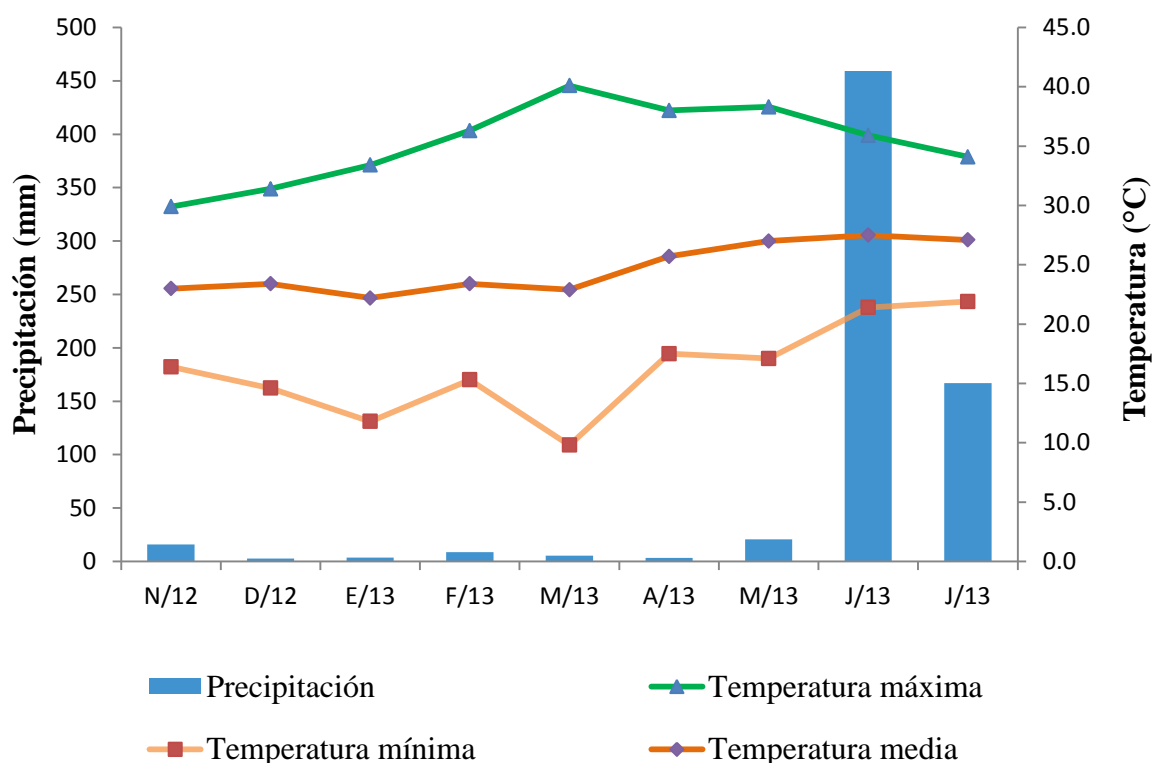


Figura 1. Datos climáticos durante la fase experimental. Fuente: Estación climatológica del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. N/12: noviembre de 2012, D/12: diciembre de 2012, E/13: enero de 2013, ..., J/13: julio de 2013.

3.2. Animales utilizados

Se utilizaron 24 vacas lactantes de primero, segundo y tercer parto de 1160 ± 68 , 1756 ± 74.9 y 2263.7 ± 62.4 d de edad. De acuerdo a su fecha de parto se asignaron a uno de cuatro grupos de parición. Los partos ocurrieron de octubre de 2012 a marzo de 2013, el periodo experimental fue de 120 d de lactancia. El ordeño fue manual con becerro al pie de la vaca una vez al día de 7:00 a 8:30 h. La ubre se desinfectó con un compuesto yodado (Triodine), a 2 mL por cada litro de agua, para la limpieza y secado se utilizaron franelas de algodón.

3.3. Manejo de animales

Los animales pastorearon exclusivamente pará (*Brachiaria mutica*), en un solo grupo permanecieron aproximadamente 21 h en el potrero las tres h restantes fueron dedicados al ordeño, las vacas caminaron aproximadamente 800 m para llegar a la sala de ordeño, Los tratamientos fueron: 1) alimentación exclusiva a base de pastoreo rotacional con pasto pará (*Brachiaria mutica*) y 2) pastoreo más suplementación de 1 kg de concentrado comercial por cada 5 kg de leche producida.

3.4. Suplementación

La asignación de concentrado se realizaba durante la ordeña. La cantidad de concentrado comercial ofrecido fue de 1 kg por cada 5 kg de leche producida por vaca, el cual fue modificado por la cantidad de leche producida cada de 21 d. Una vez al mes se proporcionaron sales minerales en un comedero portátil y el agua se ofreció a libertad.

3.5. Consumo de forraje de la pradera

Se utilizaron potreros de una superficie total de 4 ha dividida en 16 potreros de 0.25 ha cada uno en donde pastoreaban todos los animales experimentales, los cuales permanecieron dos o tres días en cada potrero, considerando la disponibilidad de forraje y asegurando un residual remanente indispensable para el siguiente rebrote, lo que permitió otorgar un periodo de descanso de 32 a 48 d por potrero. El muestreo de forraje se realizó con un cuadrante metálico de 1 m² cada 15 días, antes de cada pastoreo se registró la altura de pasto en 14 plantas tomadas al azar, el forraje fue cortado a 10 cm del suelo simulando la altura de cosecha durante el pastoreo, el forraje cosechado se secó a temperatura ambiente y se guardó en bolsas de papel para determinar su composición química posterior.

3.6. Análisis de laboratorio

Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio de nutrición animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Las muestras de forraje y concentrado se secaron en una estufa (Riossa) a 60 °C durante 48 h, se determinó el contenido de materia seca (MS), el contenido de la proteína total se obtuvo mediante la metodología de microkjeldahl, las cenizas totales se determinaron utilizando como equipo una mufla marca Lindberg y el extracto etéreo se determinó por el método de Soxhlet, las técnicas utilizadas en los procesos metodológicos referidos se describen en AOAC, 2005; la determinación de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se obtuvo mediante las técnicas descritas por Van Soest *et al.*, 1991.

A las muestras de heces se le determinó MS, cenizas y cromo, mediante absorción atómica con equipo Perkin Elmer, modelo Varian SpectrAA 220 (Williams *et al.*, 1962). A todas las muestras se les determinaron cenizas ácido insolubles (CIA) por el método de (Van Keulen y Young, 1977) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987).

3.7. Variables de respuesta

3.7.1. Producción de leche por día (PL, kg).

Producción de leche por día (PL, kg). Las vacas se ordeñaron a fondo, y se utilizó una cubeta de plástico de 20 L de capacidad, para pesar la producción de leche de las vacas, en una báscula de reloj (DETECTO[®]) cada 21 d, durante los primeros 120 d de lactancia, sumando un total de 6 pesajes por vaca.

3.7.2. Composición química de la leche

Composición química de la leche. En un vial de plástico se recolectó una alícuota de 100 mL, la cual contenía bronopol (2-bromo-2-nitro-1, 3 propanediol) como conservador. Por espectroscopia en el infrarrojo medio (Lacto Scope FTIR[®]) se determinó, el contenido de grasa (GR, %), proteína (PT, %), lactosa (LA, %), sólidos no grasos (SNG, %), sólidos totales (ST, %) y nitrógeno ureico (NUL, mgdL⁻¹). Se determinó por citometría de flujo (Soma Scope MK2[®]), el conteo de células somáticas (CS, miles/mL⁻¹). Las muestras se

analizaron en el laboratorio de calidad de la leche de la Asociación Holstein de México, en Querétaro.

El volumen de producción de grasa (GRT, g), proteína (PTT, g), lactosa (LAT, g), sólidos no grasos (SNGT, g) y sólidos totales (STT, g) se calcularon para cada pesaje de leche, multiplicando la producción total individual por el porcentaje de cada uno de los componentes.

3.7.3. Comportamiento reproductivo

La detección de estros se realizó visualmente de 7:00-9:30 h y de 18:00-19:00 h por solamente un observador y se registraron días al primer estro (DPE), días abiertos (DA) y número de servicios por concepción (NSPC). Las vacas se sirvieron con inseminación artificial, con semen de toros de la misma raza.

3.7.4. Consumo de forraje

El consumo de forraje se determinó, utilizando como marcador externo óxido de cromo (Cr_2O_3) y cenizas insolubles en ácido (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). Se suministró óxido de cromo en tres periodos 12-26 de enero, 2-16 de marzo y del 13-27 de abril del 2013. Durante 15 días se suministraron 8 g de óxido de cromo por vaca día y los últimos 5 días se tomaron muestras de heces directamente del recto de cada vaca, se colectó en bolsas de polipapel de 1.5 kg de capacidad y se almacenaron en un congelador para su análisis. Las muestras de heces se descongelaron a temperatura ambiente y se mezclaron las cinco muestras de cada vaca del mismo periodo, para formar una sola muestra compuesta, la cual fue analizada. A las muestras de heces, al forraje de la pradera y al concentrado se les determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA). Aplicando la fórmula descrita por Church (1988), se calculó la producción fecal diaria de cada vaca y el consumo de materia seca se calculó con la ecuación descrita por Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Producción fecal MS (g d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{dosis de marcador (g d}^{-1}\text{)}}{\text{concentración del marcador en heces (}\mu\text{g g}^{-1}\text{ MS?)}}$$

El consumo de forraje de la pradera (g MS d^{-1}) de cada vaca se estimó con la ecuación que proponen Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Consumo de pasto (kg de MS } d^{-1}\text{)} = \frac{(\text{CAI})_E * F - (\text{CAI})_c * C}{(\text{CAI})_p}$$

Donde:

$(\text{CAI})_E$ = Concentración de marcador en excreta

$(\text{CAI})_c$ = Concentración de marcador en concentrado

$(\text{CAI})_p$ = Concentración de marcador en pasto

F= Producción fecal

C= Consumo de materia seca de concentrado

El consumo total de MS se determinó sumando la cantidad (en MS) de forraje cosechado de la pradera y el concentrado ofrecido por vaca⁻¹ día⁻¹.

La digestibilidad total de la materia seca (DTMS) se estimó con la ecuación descrita por (Church, 1988).

$$\text{Digestibilidad de la MS (\%)} = 100 - \frac{[100 (\text{Concentración de cenizas en la dieta})]}{\text{Concentración de cenizas en heces}}$$

3.8. Análisis estadísticos

Los datos de producción y composición química de la leche se analizaron con el siguiente modelo lineal mixto:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + G_j + N_k + V_{l(ijk)} + M_{m(j)} + \epsilon_{ijklm}$$

Donde;

y_{ijklm} = Variable respuesta.

μ = Constante que caracteriza a la población.

S_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de suplementación (i = 1, 2).

G_j = Efecto fijo del j-ésimo grupo (j = 1, 2, 3, 4).

N_k = Efecto fijo de k-ésimo número de parto (k = 1, 2, 3).

$V_{l(ijk)}$ = Efecto aleatorio de la l-ésima vaca, anidada en el i-ésimo nivel de suplementación, j-ésimo grupo y k-ésimo número de parto, $V_{l(ijk)} \sim \text{NIID } (0 \sigma_v^2)$.

$M_{m(j)}$ = Efecto fijo del m-ésimo muestreo (l= 1, 2,..., 6) anidado al j-ésimo grupo (j = 1, 2, 3, 4).

ϵ_{ijklm} = Error aleatorio, $\epsilon_{ijklm} \sim \text{NID } (0 \sigma_e^2)$.

El efecto de muestreo correspondió a mediciones repetidas en la misma vaca; para el análisis de CS se utilizó la transformación logarítmica, sin embargo las medias se presentan en escala original. Para analizar los datos se utilizó el procedimiento MIXED del SAS[®] 9.3

(SAS Institute, 2010). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey (Littel *et al.* 1996).

Las características reproductivas se analizaron con el procedimiento GLM del SAS y se utilizó el siguiente modelo lineal:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + G_j + N_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde;

y_{ijk} = Variable respuesta.

μ = Constante que caracteriza a la población.

S_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de suplementación (i = 1, 2).

G_j = Efecto fijo del j-ésimo grupo (j = 1, 2, 3, 4).

N_k = Efecto fijo del k-ésimo número de parto (k = 1, 2, 3).

ϵ_{ijk} = Error aleatorio, $E_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2_t)$.

El consumo y digestibilidad de materia seca (MS) se analizó con el siguiente modelo lineal mixto:

$$y_{ijklm} = \mu + P_i + S_j + G_k + N_l + V_{m(ijk)} + \epsilon_{ijklm}$$

Donde;

y_{ijklm} = Variable respuesta.

μ = Constante que caracteriza a la población.

P_i = Efecto fijo del i-ésimo periodo (i = 1, 2, 3).

S_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel de suplementación (i = 1, 2).

G_k = Efecto fijo del k-ésimo grupo (j = 1, 2, 3, 4).

N_l = Efecto fijo de l-ésimo número de parto (k = 1, 2, 3).

$V_{m(jkl)}$ = Efecto aleatorio de la m-ésima vaca, anidada en el j-ésimo nivel de suplementación, k-ésimo grupo y l-ésimo número de parto, $V_{l(jkl)} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2_v)$.

ϵ_{ijklm} = Error aleatorio, $E_{ijklm} \sim \text{NID}(0, \sigma^2_t)$.

Para los análisis de los datos se utilizó el procedimiento GLM y Mixed del SAS[®] 9.3. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey (SAS Institute, 2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química del pasto y concentrado se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química de pasto pará (*Brachiaria mutica*) y concentrado comercial suplementado a vacas Criollo Lechero Tropical.

Característica	Pasto Pará	Concentrado comercial
	$\bar{X} \pm EE$	$\bar{X} \pm EE$
Materia seca (MS, %)	96.01 \pm 0.14	90.18 \pm 0.61
Cenizas totales (CT, %)	10.53 \pm 0.56	7.21 \pm 0.13
Proteína total (PT, %)	9.27 \pm 0.65	22.57 \pm 0.30
Fibra detergente neutro (FDN, %)	74.41 \pm 0.53	31.10 \pm 0.58
Fibra detergente ácida (FDA, %)	48.02 \pm 0.71	10.29 \pm 0.35
Extracto etéreo (EE, %)	1.08 \pm 0.10	3.42 \pm 0.39

EE = Error estándar

El mayor contenido de humedad del pasto pará de 5.8 % con respecto al concentrado, se le atribuye que el pasto se encontraba en el estado fisiológico de desarrollo y a la retención de humedad por las tricomas de hojas y tallos características del pará.

El contenido de CT del pará fue mayor 3.3 % al del concentrado, esta diferencia es un indicador de calidad y pureza del concentrado, representan el contenido del alimento en minerales indigestibles.

El contenido de PT del concentrado fue mayor 13.3 % al del pará. La PT del pará puede variar de acuerdo a su estado fisiológico, dependiendo de las condiciones de fertilidad del suelo, época del año y manejo agronómico, entre otros factores (Meléndez *et al.*, 2012); mientras que el contenido de nutrientes del concentrado ha sido formulado de manera expofesa.

Los mayores contenidos de FDN y FDA del pará son debido al mayor contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina del forraje.

El contenido de EE en el concentrado está relacionado con el uso de cereales y muy probablemente de oleaginosas en su formulación. En los forrajes esta componente está asociada básicamente a la presencia de cloroplastos en hojas y tallos.

El mayor contenido de 5.8 % de humedad del pasto pará con respecto al concentrado (Cuadro 1).

Las CT encontrada en el pará es superior a 9.9 % reportada por Cardona *et al.*, 2002, sin embargo respecto al concentrado es bajo, comparado con los encontrados en el pará (*Brachiaria mutica*).

El contenido de PT del pará fue inferior de 14–20 % (Cuadro 1), aunque ligeramente superior de 8 % de pará fertilizado y cosechado cada 60 d (Meléndez *et al.*, 2012). Se han publicado contenidos similares de PT de 9.2 y 9.7 % en pará cosechado cada 48 d (Rojas *et al.*, 1988) e inferiores de 8.2 % (Cardona *et al.*, 2002).

La FDN del pasto pará encontrada, es superior a 69.5 % reportada por Cardona *et al.* (2002), sin embargo es inferior a 76.8 % reportada por Reyes *et al.* (2007).

Welch y Smith (1969) señalaron que el tiempo de masticado está relacionado con el contenido de fibra detergente neutro del forraje. El contenido total de pared celular (FDN) de un forraje o de una ración, es un buen indicador del consumo voluntario de forraje (Van Soest *et al.*, 1994) y Mertens, (1983) señalan como valor óptimo el 40% en forma de FDN sobre materia seca, propone un consumo de FDN equivalente a 1.1-1.2 % por cada 100 kg de peso vivo (6.6 a 7.2 kg de FDN para una vaca de 600 kg de peso vivo) para maximizar el consumo voluntario de materia seca y la producción de leche.

Delahoy *et al.* (2003) señala que una pradera con (> 50 % FDN) se considera de mediana calidad, es decir que con base a 74.41 % encontrado para el pará podríamos considerarla de calidad media y el concentrado es de mejor calidad con un contenido de 31.10±0.58 es de mejor calidad comparado con la *Brachiaria mutica*.

La fibra detergente ácido (FDA) encontrada es superior a 43.93 % reportada por Laredo y Cuesta (1988), sin embargo 41.5 % reportado por Cardona *et al.* (2002) es inferior a lo encontrado es este estudio.

4.1. Producción de leche individual y composición de leche

La producción media de leche fue 5.82±0.18 y 7.10±0.18 kg d⁻¹ para pastoreo y pastoreo más suplementación (p≤0.05) (Cuadro 2). Esta diferencia de 1.28 kg d⁻¹ es similar a la obtenida por Domínguez *et al.* (2011) quienes encontraron producciones de 7.35±0.14 y 8.61±0.12 kg d⁻¹ en vacas CLT puras y cruzadas, con y sin suplementación, pero con dos ordeños al día. La producción de leche de las vacas suplementadas en este estudio, fue superior de 6.60±1.9 kg d⁻¹ obtenida en vacas CLT suplementadas con 2 kg d⁻¹ de concentrado con 16 % de PC (Martínez-Tinajero *et al.*, 2006).

Los resultados obtenidos en este experimento en ambos tratamientos son superiores a los encontrados por Hernández *et al.* (2003) con vacas CLT de primer parto 4.8 ± 0.21 , 5.28 ± 0.21 y 5.19 ± 0.21 kg d⁻¹; sin suplementación, 1 kg de concentrado por cada 2.5 kg de leche producida y 1 kg de concentrado por cada 5 kg de leche producida, alimentadas con pasto pará (*Brachiaria mutica*) y un concentrado de 20% PC.

Cuadro 2. Producción y composición química de la leche de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).

Característica	Pastoreo	Pastoreo más suplementación	Error estándar
Producción de leche (PL, kg d ⁻¹)	5.82 ^b	7.10 ^a	0.18
Grasa (GR, %)	3.4 ^a	3.4 ^a	0.1
Grasa (GRT, g)	20.1 ^b	24.3 ^a	1.2
Proteína (PT, %)	3.4 ^a	3.4 ^a	0.1
Proteína (PTT, g)	19.5 ^b	24.2 ^a	0.7
Lactosa (LA, %)	4.8 ^a	4.9 ^a	0.1
Lactosa (LAT, g)	27.8 ^b	34.6 ^a	0.9
Sólidos no grasos (SNG, %)	8.9 ^a	9.0 ^a	0.1
Sólidos no grasos (SNGT, g)	51.5 ^b	63.9 ^a	1.7
Sólidos totales (ST, %)	12.3 ^a	12.4 ^a	0.2
Sólidos totales (STT, g)	71.5 ^b	88.2 ^a	2.8
Nitrógeno ureico (NUL, mg dL ⁻¹)	10.4 ^a	10.2 ^a	0.4
Células somáticas (CS, miles mL ⁻¹)	260.4 ^a	195.2 ^a	78.7

a, b: Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

La diferencia de producción de leche entre tratamientos fue 1.28 kg d⁻¹ a favor de las vacas suplementadas, que equivale a 22 %, y representa una diferencia de 153.6 kg durante el periodo de estudio de 120 d.

Guerrero *et al.* (2002) estimaron una producción inferior de leche de 5.3 ± 0.4 vaca⁻¹ d⁻¹ en ganado CLT pastoreando guinea (*Panicum maximum*) y grama nativa (*Cynodon sp.*) Sin embargo la leche contenía mayor porcentaje de grasa 3.9 ± 0.2 , proteína 3.9 ± 0.2 y sólidos totales 12.7 ± 0.3 .

Aunque no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos para la composición porcentual química de la leche, la producción total (g) de estas componentes fue superior

($p \leq 0.05$) en las vacas suplementadas, alcanzando más de 21 % en el total de GR, PT, LA, SNG y ST. Domínguez *et al.* (2011) encontraron que el contenido de GR, PT y ST fue de 4.3 ± 0.1 , 3.7 ± 0.1 y 13.3 ± 0.1 , superiores a los encontrados en este estudio. Un contenido alto de sólidos totales de la leche de vacas CLT presenta ventajas comparativas con respecto a otros genotipos tropicales para la elaboración de queso y otros derivados lácteos (Meza-Nieto *et al.*, 2012).

No se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos para la composición química de la leche (Cuadro 2). Sin embargo, para el volumen de producción de estas componentes sí ($p \leq 0.05$) (Cuadro 2). Domínguez *et al.* (2011) encontraron que el contenido de GR, PT y ST fue 4.3 ± 0.1 , 3.7 ± 0.1 y 13.3 ± 0.1 , mayores a los encontrados en este estudio. Un contenido alto de sólidos totales de la leche de vacas CLT puede presentar ventajas comparativas con respecto a otros genotipos tropicales para la elaboración de queso y otros derivados lácteos (Meza-Nieto *et al.*, 2012).

Guerrero *et al.* (2002) reportaron contenidos de 3.9 ± 0.2 , 3.9 ± 0.2 y 12.7 ± 0.3 para GR, PT y ST superiores al presente estudio. La selección a favor de mayor rendimiento lechero en el ganado CLT durante los últimos años, pudo haber contribuido a disminuir el contenido relativo de las componentes de la leche (Santellano-Estrada *et al.*, 2011).

Martínez Velásquez *et al.* (2010) realizaron tres muestreos por lactancia cuando las vacas tenían en promedio 70, 126 y 182 días posparto, encontraron porcentajes de contenidos de proteína de 3.83, 3.72 y 3.88 respecto al grupo genético GC: Guzerat*Criollo, CG: Criollo*Guzerat y C: Criollo, no se encontraron diferencias entre las GC, CG y C pero si hubo efecto significativo comparado con las G: Guzerat con media de 3.56 ± 0.1 . Sin embargo estos resultados son superiores a 3.4 ± 0.1 los encontrados en este estudio. Martínez Velásquez *et al.* (2010) reportaron porcentajes de sólidos no grasos de 9.09, 9.36, 9.19 y 9.29 ± 0.1 respecto a G: Guzerat, GC: Guzerat*Criollo, CG: Criollo*Guzerat y C: Criollo, sin encontrar diferencias entre los cuatro grupos; son relativamente similares a 8.9 y 9.0 ± 0.1 encontrados en el presente estudio.

Los resultados encontrados en este estudio son superiores a 3.3, 3.2 y 3.3, datos reportados por Pulido *et al.* (2009), no encontraron diferencias en cuanto a la producción de leche y porcentaje de proteína al suplementar vacas frisón negro con 3, 6 y 9 kilogramos de concentrado. Pirela *et al.* (2010) al suplementar vacas Criollo Limonero con alimento concentrado de 17 % de PT y una mezcla de 90% de harina de frutos de samán (*Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth) y 10% de melaza de caña de azúcar, concuerdan que la suplementación no afectó la calidad de la leche, con medias de grasa (4.83 vs 4.76 %) y

proteína (4.32 vs 4.19 %), estimaron contenidos superiores a 3.4 ± 0.1 de grasa y proteína encontrados en el presente estudio.

Razz y Clavero (2007) realizaron un estudio en el bosque seco tropical del estado de Zulia, Venezuela, al suplementar con T1: Pastoreo en *P. maximum*+1 h/día en *Leucaena*, T2: Pastoreo en *P. maximum*+1 h/día en *Leucaena*+1kg concentrado y T3: Pastoreo en *P. maximum*+1 h/día en *Leucaena*+2kg concentrado a vacas de doble propósito con dos ordeños al día con apoyo del becerro y amamantamiento restringido, reportaron valores de grasa de 4.12 ± 0.71 , 4.19 ± 0.71 y 3.96 ± 0.69 no se encontraron diferencias entre tratamientos, aunque éstos resultados son superiores a 3.4 ± 0.1 % de grasa encontrados al estudio presente. Razz y Clavero (2007) reportan porcentajes de lactosa de 4.65 ± 0.43 , 4.53 ± 0.48 y 4.62 ± 0.53 sin encontrar diferencias para los tres tratamientos; Éstos resultados son relativamente bajos a 4.8 y 4.9 ± 0.1 encontrados es este estudio. Razz y Clavero (2007) reportaron porcentajes de sólidos totales de 12.42 ± 0.70 , 12.70 ± 0.89 y 12.26 ± 1.08 respecto a los tratamientos, y se mostró influencia a favor del T2.

Hess *et al.* (1999) señalaron que la alimentación de las vacas doble propósito mostró poco efecto en la composición de leche, pero se observó una alta variabilidad entre animales específicamente en el porcentaje de grasa.

El número de células somáticas puede considerarse muy bajo y aceptable comparado con vacas de doble propósito con diferentes proporciones de *Bos taurus* y *Bos indicus* (Licons, 2007) y esta característica la hace resaltar para la transformación de leche en derivados bajo la región tropical donde las condiciones ambientales son difíciles para la producción de leche con ganado especializado. El ordeño con el becerro al pie puede reducir sensiblemente la presencia de células somáticas y mejorar sustancialmente la sanidad de la ubre (Andrade *et al.*, 2010).

El bajo CCS puede estar relacionado con el sistema de ordeño con presencia del becerro que se utiliza para la eyección de leche y después del ordeño la leche residual es consumida por el becerro. Un estudio realizado en Santa Rosa de Viterbo, Colombia demuestra que el amamantamiento restringido disminuye significativamente los conteos de células somáticas y mejora sustancialmente la sanidad de la ubre (Andrade *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Producción y composición química de la leche por número de parto de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).

Característica	Número de parto			
	1	2	3	Error estándar
Producción de leche (PL, kg d ⁻¹)	5.55 ^b	7.16 ^a	6.66 ^a	0.23
Grasa (GR, %)	3.9 ^a	3.1 ^b	3.2 ^b	0.2
Grasa (GRT, g)	22.0	22.5	22.0	1.6
Proteína (PT, %)	3.5	3.3	3.4	0.1
Proteína (PTT, g)	19.2 ^b	23.4 ^a	22.9 ^a	0.8
Lactosa (LA, %)	4.8	4.9	4.7	0.1
Lactosa (LAT, g)	26.5 ^b	35.2 ^a	31.7 ^a	1.1
Sólidos no grasos (SNG, %)	9.0	8.9	8.9	0.1
Sólidos no grasos (SNGT, g)	49.8 ^b	63.7 ^a	59.6 ^a	2.1
Sólidos totales (ST, %)	12.9 ^a	12.0 ^b	12.2 ^{ab}	0.21
Sólidos totales (STT, g)	71.8 ^b	86.4 ^a	81.4 ^{ab}	3.5
Nitrógeno ureico (mg dL ⁻¹)	10.3 ^{ab}	11.4 ^a	9.2 ^b	0.5
Células somáticas (CS, miles mL ⁻¹)	67.5 ^b	171.0 ^{ab}	445.0 ^a	98.8

^{a, b, c}: Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

Aunque el número de parto influyó ($p \leq 0.05$) en la mayoría de las variables de respuesta (Cuadro 3), no se observó una respuesta consistente al cambiar de parto. La PL, PPT, LAT SNGT, STT y CS fueron inferiores en el primer parto, mientras que GR y ST fueron superiores al segundo o tercer parto.

En el primer parto las vacas produjeron menos leche, aunque con mayor contenido graso y de sólidos, resaltando el bajo CS que en partos subsecuentes, donde aumentó 2.5 veces al segundo y tercer parto, rebasando de manera considerable 200 miles mL⁻¹.

El análisis de los resultados mostró influencia ($p \leq 0.05$) del número de parto en la producción de leche, los valores más altos corresponden a las vacas de segundo parto, los intermedios y sin encontrar diferencias significativas entre las vacas de tercer y segundo parto, y los más bajos en las vacas de primer parto (Cuadro 3). Este efecto se debe a las diferencias en edad, tamaño corporal, crecimiento y desarrollo de los órganos asociados con el consumo de alimento, el metabolismo y la expresión genética para la producción de leche (Galavis y Vásquez-Peláez 1994; Osorio y Segura, 2002).

Este efecto se debe a las diferencias en edad, tamaño corporal, crecimiento y desarrollo de los órganos asociados con el consumo de alimento, el metabolismo y la expresión genética para la producción de leche (Galavis y Vásquez-Peláez 1994; Osorio y Segura, 2002).

En estudios de López Ordaz *et al.* (2009a) al estudiar vacas de uno, dos, tres, cuatro y cinco partos con vacas de diferentes proporciones de *Bos taurus* (BT) X *Bos indicus* (BI), alimentadas con un pastoreo rotacional de gramas tropicales con asignación diaria en franjas con cerco eléctrico. Las especies forrajeras incluyeron al *Paspalum spp* (Camalote o Remolino), *Homolepsis spp* (Grana Amarga) y *Cynodon spp* (Bermuda). Las vacas en lactancia recibieron forraje y 1.0 kg de concentrado 16 % PT durante el ordeño de la mañana y 1.0 kg durante el ordeño de la tarde, reportaron que la producción de leche por día fue de 7.3 ± 0.17 , 8.5 ± 0.17 , 9.2 ± 0.20 , 9.8 ± 0.21 y 9.8 ± 0.17 respecto a vacas de uno, dos, tres, cuatro y cinco partos.

El número de parto mostró diferencias significativas en el porcentaje de grasa, con un valor más alto para las vacas de primer parto, valores intermedios para las de tercer parto sin encontrar diferencias estadísticas entre las del segundo y tercer parto. Los números más altos los encontramos en las vacas de primer parto sin encontrar diferencias entre vacas de primero y tercer parto, al igual no se mostraron diferencias entre las vacas de segundo y tercer parto (Cuadro 3). El efecto de número de parto influyó para el conteo de células somáticas con un contenido mayor en las vacas de tercer parto, intermedios las de segundo parto y con un número bajo las vacas de primer parto. La producción de nitrógeno ureico fue influido por el número de partos con valores altos las de segundo parto, intermedios las vacas de primero y tercer parto sin detectar diferencias estadísticas entre estas dos últimas (Cuadro 3).

Vite-Cristóbal *et al.* (2007), encontraron que el número de parto influye en la producción de leche con medias de 10.2 ± 1.0 , 12.25 ± 0.7 y 14.0 ± 1.0 respecto a vacas de primer, segundo y tercer parto al suplementar con concentrado de 18 % de PT a razón de 1 kg por cada 3 kg de leche producida por día a vacas de doble propósito en pastoreo de gramínea tropicales, en el estado de Veracruz con vacas de genotipos F1 Holstein x Cebú, F1 Suizo Pardo x Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo Pardo x $\frac{1}{4}$ Cebú ordeñadas dos veces al día, valores superiores a los encontrados en este estudio, la explicación se debe a que en vacas cruzadas se presenta el vigor híbrido.

López Ordaz *et al.* (2009b) reportaron resultados superiores a los encontrados en este estudio al comparar vacas de primero, segundo, tercero y cuarto parto, con dos ordeños y medias reportadas de 10.6 ± 0.5 , 11.7 ± 0.5 , 12.4 ± 0.6 , 13.2 ± 0.5 siendo valores más altos para las vacas de cuarto parto y resultados bajos vacas de primer parto con una diferencia significativa estadísticamente, al suplementar con un concentrado comercial de 18% de PT y

1,65 Mcal de energía neta, a razón de un kilogramo por cada tres kilogramos de leche producida a vacas 3H1C= ¾ Holstein ¼ Cebú; 3S1C= ¾ Suizo ¼ Cebú; HC= ½ Holstein ½ Cebú; SC= ½ Suizo ½ Cebú utilizando como base de alimento pangola (*Digitaria decumbens*), señal (*Brachiaria decumbens* cv. Señal), bermuda (*Cynodon dactylon*), taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum var. Taiwán) y gramas nativas (*Paspalum spp.* y *Axonopus spp.*).

Cuadro 4. Producción y composición química de la leche por grupo de inicio de lactancia de vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).

Característica	Grupo				Error estándar
	1	2	3	4	
Producción de leche (PL, kg d ⁻¹)	5.51 ^b	6.33 ^{ab}	6.69 ^a	7.30 ^a	0.28
Grasa (GR, %)	3.3	3.7	3.3	3.5	0.2
Grasa (GRT, g)	17.8 ^b	23.2 ^{ab}	22.0 ^{ab}	25.7 ^a	1.8
Proteína (PT, %)	3.4	3.3	3.4	3.4	0.1
Proteína (PTT, g)	18.4 ^b	21.1 ^b	22.9 ^a	25.2 ^a	1.0
Lactosa (LA, %)	4.8	4.7	4.9	4.8	0.1
Lactosa (LAT, g)	26.5 ^b	30.0 ^b	33.0 ^a	35.3 ^a	1.3
Sólidos no grasos (SNG, %)	8.9	8.8	9.1	9.0	0.1
Sólidos no grasos (SNGT, g)	48.9 ^b	55.6 ^b	60.6 ^a	65.8 ^a	2.5
Sólidos totales (ST, %)	12.1	12.5	12.3	12.5	0.2
Sólidos totales (STT, g)	66.6 ^b	78.8 ^{ab}	82.5 ^{ab}	91.5 ^a	4.1
Nitrógeno ureico (mg dL ⁻¹)	9.0	11.3	10.8	10.1	0.6
Células somáticas (miles mL ⁻¹)	110.8	494.6	147.4	158.5	115.1

^{a, b, c, d}: Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

El grupo de parición también influyó ($p \leq 0.05$) en las variables de respuesta (Cuadro 4). Consistentemente el cuarto grupo de vacas tuvieron mayor producción de leche y de sus componentes; a diferencia de los primeros tres grupos, parte del periodo de la lactancia de 120 d de estas vacas ocurrió ya entradas las lluvias (Figura 1) y con el control de la biomasa disponible para pastoreo totalmente definido.

Para la composición química de la leche en porcentaje no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) al comparar los cuatro grupos de vacas, este resultado se explica

porque todas las vacas corresponden a la misma raza con un nivel de pureza del 100% CLT y manejo de alimentación.

Cuando las vacas son agrupadas de acuerdo al grupo de inicio de lactancia se encuentran diferencias significativas para el volumen de producción de cada uno de los elementos de composición química de la leche a favor de las vacas del cuarto grupo, seguido las de tercero, segundo y con resultados más bajos para las vacas de primer parto.

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) para la producción de leche, al comparar los grupos de inicio de lactancia de vacas de primer, segundo y tercer parto (Cuadro 4), siendo la producción más baja en el primer grupo de vacas y producciones más altas para las vacas del cuarto grupo, esto se explica debido que cuando se inicia el estudio no se tenía manejo sobre la pradera y el pasto estaba maduro, sin embargo de acuerdo al estudio se controlaba los días de utilidad y reposo de la pradera con la finalidad de mantener la misma cantidad de biomasa y concentración de nutrimentos homogéneos, aunado la precipitación pluvial registrada fue menor de 25 mm en los primeros siete meses y los dos últimos meses se nota el inicio de lluvias (figura 1).

Los resultados encontrados en el presente estudio al agrupar vacas de acuerdo al inicio de lactancia son inferiores a 12.5 ± 0.4 reportados por López Ordaz *et al* (2009b), durante le época de secas para el estado de Veracruz, al suplementar con un concentrado comercial de 18% de PT y 1,65 Mcal de energía neta, a razón de un kilogramo por cada tres kilogramos de leche producida a vacas 3H1C= $\frac{3}{4}$ Holstein $\frac{1}{4}$ Cebú; 3S1C= $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú; HC= $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú; SC= $\frac{1}{2}$ Suizo $\frac{1}{2}$ Cebú utilizando como base de alimento pangola (*Digitaria decumbens*), señal (*Brachiaria decumbens* cv. Señal), bermuda (*Cynodon dactylon*), taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum var. Taiwán) y gramas nativas (*Paspalum spp.* y *Axonopus spp.*).

Para la composición química de la leche en porcentaje no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) al comparar los cuatro grupos de vacas, este resultado se explica porque todas las vacas corresponden a la misma raza con un nivel de pureza del 100% CLT y manejo de alimentación, cuando las vacas son agrupadas de acuerdo al grupo de inicio de lactancia se encuentran diferencias significativas para el volumen de producción de cada uno de los elementos de composición química de la leche a favor de las vacas del cuarto grupo, seguido las de tercero, segundo grupo y con resultados más bajos para las vacas de primer parto se explica porque al inicio del estudio hubo un pasto maduro y sin manejo de pastoreo y para cuando ingresa el cuarto grupo de vacas ya se tiene mayor control sobre el sistema de pastoreo en cuanto a producción total de MS y composición nutrimental en la pradera.

4.2. Manejo reproductivo de vacas Criollo Lechero Tropical

Aunque no se encontraron diferencias ($p>0.05$) entre tratamientos para los días al primer estro (DPE) las vacas suplementadas tuvieron 6.3 d menos, aunque es de importancia resaltar que el concentrado utilizado es con características nutricionales para la producción de leche. El tratamiento no influyó ($p>0.05$) en los días abiertos (DA) con 12.99 d menos en las vacas que recibieron concentrado. Los resultados de esta investigación son mayores a 55.1 ± 20.3 DPE estimados por Martínez-Tinajero *et al.* (2006) al suplementar vacas CLT con 2 kg d^{-1} de concentrado con 16% de PC. Lyimo *et al.* (2004) estimaron 123 ± 11 DA en ganado cruzado *Bos indicus* x *Bos taurus* de Tanzania alimentado a base de pastoreo con limitada suplementación.

Cuadro 5. Comportamiento reproductivo de vacas Criollo Lechero Tropical suplementadas y sin suplementar (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar).

Variable de respuesta	Pastoreo	Pastoreo más suplementación
	$\bar{X}\pm\text{EE}$	$\bar{X}\pm\text{EE}$
DPE	113.88 ± 12.43	107.56 ± 12.43
DA	149.10 ± 19.93	136.11 ± 19.93
NSPC	1.58 ± 0.32	1.70 ± 0.30

DPE: días al primer estro, DA: días abiertos y NSPC número de servicio por concepción.

Tampoco para el número de servicios por concepción (NSPC) se observaron diferencias entre tratamientos. El bajo NSPC observado es similar al observado por (Rosendo-Ponce y Becerril, 2002) en el hato de procedencia de las vacas y alentador e indicativo de una alta fertilidad una vez que la vaca Criollo Lechero Tropical está ciclando y el incremento de la eficiencia reproductiva se asocia con la rentabilidad y la sostenibilidad de los ranchos (Vite-Cristóbal, 2007). Aquí un referencia general no cabe, se compara ya con datos.

Una eficiente detección de estros influye positivamente en el NSPC, considerando el momento de la ovulación para la IA, debido a la relación que existe entre la viabilidad del semen y del ovulo (Roche, 2006).

El NSPC encontrado en esta investigación es menor a 1.8 ± 1.1 estimado por Lyimo *et al.* (2004) en ganado cruzado de Tanzania.

4.3. Consumo y digestibilidad de materia seca

No se encontraron diferencias para el consumo de materia seca (MS) aunque existe una diferencia de 545 g vaca⁻¹ d⁻¹ a favor de las vacas que recibieron el concentrado comercial esto se explica porque las vacas suplementadas aumentan el consumo total de materia seca Bargo *et al.*, 2003 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Consumo, excreción fecal y digestibilidad de la MS de vacas suplementadas y no suplementadas (Medias de mínimos cuadrados \pm error estándar)

Variable de respuesta	Pastoreo	Pastoreo más suplementación
	$\bar{X} \pm EE$	$\bar{X} \pm EE$
Consumo de MS (g vaca ⁻¹ d ⁻¹)	13861.0 \pm 490.2 ^a	14406.0 \pm 479.4 ^a
Excreción fecal de MS (g vaca ⁻¹ d ⁻¹)	4594.4 \pm 155.7 ^b	5092.5 \pm 152.3 ^a
Digestibilidad de MS (%)	66.2 \pm 0.7 ^b	97.3 \pm 0.7 ^a

^{a, b} Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes ($p \leq 0.05$).

El efecto de tratamiento en la excreción fecal mostró influencia a favor de las vacas suplementadas con una diferencia de 498.1 g vaca⁻¹ d⁻¹, lo que indica que efectivamente el consumo de MS fue incrementado Bargo *et al.*, 2003 (Cuadro 6).

La digestibilidad mostró una alta diferencia con 31.1 %, debido que esta variable fue directamente el tratamiento base del estudio, la digestibilidad encontrada de 66.2 % corresponde a las vacas que solamente recibieron pastoreo del pasto pará y el 97.3 % pertenece a las vacas que recibieron el pastoreo y una porción de concentrado, dependiendo de la producción de leche.

Sin embargo, el análisis del pasto pará del presente estudio concuerda con el indicado por Meléndez *et al* (2012) donde reportó que la digestibilidad de la materia seca varía de 55 a 65 % en la planta integral.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones tropicales cálidas de Veracruz la suplementación con alimento comercial que contiene un nivel superior de 20 % de PT a vacas Criollo Lechero Tropical en pastoreo controlado aumentó la producción de leche individual más de un kilogramo al día, sin afectar el porcentaje de la composición química de la leche pero si en el volumen de producción de cada uno de sus componentes respecto al tratamiento y al número de partos. La suplementación no tuvo efecto en el comportamiento reproductivo ni en el consumo de materia seca del animal.

VI. LITERATURA CITADA

- Albarrán, P. B. 2002. Evaluación de la inclusión de ensilado de maíz y alimento concentrado en la alimentación de vacas lecheras en pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el valle de Toluca, México. Tesis de maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Allison, C. D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manage.* 38:305.
- Améndola, R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate México. Chapingo University. Animal Science Department. México. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands. 269 pp.
- Ames, D. R. and D. E. Ray. 1983. Environmental manipulation to improve animal productivity. *Journal of Animal Science*, 57:209-220.
- Andrade R., Pulido M. y D. Molano. 2010. Efectos del amamantamiento restringido en los conteos de células somáticas en vacas Holstein cruzadas. *Rev. MVZ Córdoba*. 15 (2): 2095-2101.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th ed. 4^a rev. 2011. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland. USA.
- Arieli, A., G. Adin, and I. Bruckental. 2004. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *Journal of Dairy Science*, 87: 620- 629.
- Bargo F., Muller L. D., Varga G.A., Delahoy J. E. y Cassidy T.W. 2002a. Ruminal digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85:2964-2973.

- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy and T. W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 85, 1777-1792.
- Bargo, F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002 b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pastures and a total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 85: 2948-2963.
- Bargo, F., Muller L. D., Kolver y Delahoy J. E. 2003. Invited Review: production and digestión of suplemented dairy cowa on pasture. *J. Dairy Sci*. 86: 1 - 42.
- Barton, B. 1996. Determining If Reproduction is Affected by a Nutrient Imbalance. IN: Tri-State Dairy Nutrition Conference. Fort Wayne, Indiana. Pp. 17-32.
- Benatti, P., G. Peluso, R. Nicolai, and M. Calvani. 2004. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties, *Journal of the American Collage of Nutrition*, 23: 281-302.
- Bodisco, V. y Abreu, O. 1981. Producción de leche para vacas criollas puras. Recursos genéticos animales en América latina. *FAO*. 22:17-39.
- Cardona, G. M., Sorza, D. J., Posada, L. S., Carmona, C. J., Ayala, A. S. Álvarez, L. O. 2002. Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. *Rev. Col. Cienc. Pec*. 15: 2.
- Carmona, S. y Muñoz, H. 1966. Intervalo entre partos y número de servicios por preñez en vacas criollas, jersey y encastadas de suizo en clima tropical húmedo. *A.L.P.A. Men*. 1:7:19.
- Castelán, O. y Matthewman, R. 1996. "Situación y perspectivas de la industria lechera en México con énfasis en lechería en pequeña escala", en Castelán, O. (Compilador). Estrategias para el mejoramiento de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca.
- Cervantes, E. F., Santoyo, C. H. y Álvarez, M. A. 2001. Lechería familiar, factores de éxito para el negocio. 1ª ed. UACH/CIESTAAM-PIAI/CONACYT. Plaza y Valdés. México.
- Chamberlain, D. E. and P. C. Thomas. 1983. A note on the use of chromium sesquioxide as a marker in nutritional experiments with dairy cows. *Anim. Prod*. 36:155.
- Chandler, P. 1997. Body condition score can influence milk production, reproduction. *Feedstuffs*. December 8. Pp. 10-11, 27.
- Chávez, A., M. H. González y L. C. Fierro. 1981. Consumo voluntario de forraje en vacas gestantes durante la época de sequía. *Pastizales*. XII-3.

- Chávez, M. G. 1990. Consumo voluntario de forraje, valor nutritivo de la dieta y gasto energético de vacas gestantes y lactantes en pastoreo. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih.
- Chávez, M. G. 1995. Consumo voluntario de forraje de rumiantes en libre pastoreo. En: Curso-Taller Internacional de Actualización Sobre Consumo Voluntario de Alimentos. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah.
- Church, D. C. 1988. Fecal composition, mathematics of digestion balances and markers. p. 39-57. In D.C. Church (ed) *The Ruminant Animal Digestive: Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey USA. 54 p.
- Clanton, D. C. and R. J. Raleigh. 1987. Forty years of grazing livestock nutrition research. In: *Grazing Livestock Nutrition Conference (Proceeding)* Jackson, Wyoming.
- Clark, P. W. And L. E. Armentano. 1997. Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber. *J. Dairy Sci.* 80:898.
- Coffey, M. P., G. Simm, J. D. Oldham, W.G. Hill and S. Brotherstone. 2004. Genotype and diet effects on energy balance in the first three lactations of dairy cows. *J Dairy Sci* 87, 4318-4326.
- Cordova, F. J., J. D. Wallace and R. D. Pieper. 1978. Forage intake by grazing livestock: A review. *J. Range Manage.* 31:430.
- Das, S. M., Forsberg, M. and Wiktosson, H. 1999. Influence of restricted suckling and level of feed supplementation on postpartum reproductive performance of zebu and crossbred cattle in the semi-arid tropics. *Acta Vet. Scand.* 40: 57-67.
- de Alba, J. 1964. Reproducción y genética animal. Primera edición. Editorial SIC. San José Costa Rica.
- de alba, J. 1985. El criollo Lechero en Turrialba. Boletín técnico No.15. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- de Alba, J. 2011. El libro de los bovinos criollos de América. Biblioteca Básica de Agricultura. Ed. Colegio de Postgraduados. México. 444 p.
- de Alba, J. and Kennedy, B. W. 1994. Genetic parameters of purebred and crossbred milking criollos in tropical Mexico. *Anim. Prod.* 58:159-165
- del Valle, M. C. y A. G. Álvarez. 1997. La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos <http://136.142.158.105/LASA97/delvrialvarez.pdf>. del TLCAN.

- Delahoy, J. E., Muller, L. D., Bargo F., Cassidy T. W., y Holden, L. A. 2003. Supplemental carbohydrate sources for lactating dairy cows on pasture. *Journal Dairy Science*. 86:906-915.
- Díaz, J. E. 1988. Evaluación de normas prácticas para la alimentación de ovinos en el trópico. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Maracay, Venezuela; Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 78p.
- Domínguez-Pérez A., Becerril-Pérez C. M., Rosendo-Ponce A., Narciso-Gaytán C. 2011. Suplementación de vacas Criollo Lechero Tropical. Mem. XXXIX Reunión Asociación Mexicana de Producción Animal. Chapingo, México.
- Ellis, W. C. 1978. Determinants of grazed forage intake and digestibility. *J. Dairy Sci.* 61:1828.
- Enríquez, Q. J. F. y J. Romero M. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria ssp.* en Isla, Veracruz. *Agrociencia* 33: 141-148.
- Freer, M. 1981. The control of food intake by grazing animals. In: F. H. W. Morley (Ed). *Grazing Animals*. Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam, Holland.
- Galavis J. y Vasquez-Pelaez C. G. 1994. Estimation of milk production curve in Brown Swiss cattle in the subtropical climate of Mexico. *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1994 August 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph Ontario: FARC Press,20:367-370.*
- Galyean, L. N., Krysl, J. L. and Estell, E. R. 1986. Marker-based approaches for estimation of fecal output and digestibility in ruminants. In: *Feed intake by beef cattle. Symposium Proceedings. Oklahoma State University, USA.* p. 96
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de México. 191 p.
- García, H. L. A. 1997. “Análisis de la pequeña producción lechera en México a partir de la renta ganadera”, en *Memorias del Seminario-Taller Nacional en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala. Centro de investigación en Ciencias Agropecuarias y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del estado de México, Toluca.*pp.81-82.
- Geerken, C. M., D. Calzadilla, y R. González. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y forrajes*, 10: 266- 273.

- Gloy, B. A., L. W. Tauer and W. Knoblauch. 2002. Profitability of grazing versus mechanical forage harvesting on New York dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 85:2215-2222.
- Goff, J. P. and R. L. Horst. 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80:1260-1268.
- Grant, R. J. 2007. Feeding to maximize milk solids. Institute of Agriculture and Natural Resources at the University of Nebraska- Lincoln. Disponible en la web en: (<http://elkhorn.unl.edu/epublic/pages/publicationD.jsp?publicationId=703>)
- Greenhalgh, J. F. D. 1982. An introduction to herbage intake measurements. In: J. D. Leaver (Ed). *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society.
- Guerrero, H. L. J., Cervantes, A. P., Cisneros, R. N., Becerril, P. C. M., Pérez, H. P. y Rosendo, P. A. 2002. Composición láctea y rendimiento quesero de vacas de la raza Criollo Lechero Tropical. *Revista Chapingo. Serie ingeniería agropecuaria, México*. 5 (1-2): 93-96.
- Hernández, M. H., Pérez, H. P., Becerril, P. C. M., Saldaña, C. P. y Hernández, M. O. 2003. Producción de leche de vacas Criollo Lechero Tropical y sus cruizas en pastoreo, con y sin suplementación. Tesis de Licenciatura del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 6 de Huejutla, Hidalgo. 34 p.
- Hernández, T., Valles, B., y Castillo, E. 1990. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales*; 12:29-33.
- Hernandez-Mendo, O. and Leaver J. D. 2006. Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage/soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science*, 61: 335-346.
- Hernandez-Mendo, O., M. A. G. von Keyserlingk, D. M. Veyra, and D. M. Weary. 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90:1209-1214.
- Hess, H. D., Flores H., Lazcano C. E., Baquero L. A., Becerra A. y J. Ramos. 1999. Fuentes de variación en la composición de la leche y nivel de urea en sangre y leche en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia. *Past. Trop.* 21 (1): 33-42.
- Hodgson, J. 1982. Ingestive behaviour. In: J. D. Leaver (Ed). *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society.
- Hodgson, J. 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. *Proceedings of the 15th International Grassland Congress, Kyoto*, pp. 63-67.

- Hodgson, J. 1990. *Grazing management Science into practice*. Longman, Scientific & Technical. United Kingdom.
- Hodgson, J. and I. Brookes. 1999. Nutrition of grazing animals. p. 117-132. *In* White J. and Hodgson J. (ed). *New Zealand Pasture and crop science*. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Holmes, C.W., Brookes I. M., Garrick D. J., Mackenzie D. D. S., Parkinson T. J. y Wilson G. F. 2002. *Milk production from pasture. Principles and practices*. Massey University. New Zealand. 601 p.
<http://www.das.psu.edu/dcn/CATFORG/pasture/pdf/supplementation.pdf>.
- Ingvartsen, K. L. and J. B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83:1573-1597.
- Johnson, C. R., D. L. Lalman, M. A. Brown, L. A. Appeddu, D. S. Buchanan and R. P. Wettemann. 2003. Influence of milk production potential on forage dry matter intake by multiparous and primiparous Brangus females. *Journal of Animal Science*, 81: 1837-1846.
- Kellaway, R. and S. Porta. 1993. *Feeding concentrates: Supplements for dairy cows*. Dairy Research and Development Corporation, Glen Iris, Victoria, Australia.
- Kennedy, E., M. O'Donovan, F. P. O'Mara, J. P. Murphy and L. Delaby. 2007. The Effect of Early-Lactation Feeding Strategy on the Lactation Performance of Spring-Calving Dairy Cows. *J Dairy Sci* 90, 3060-3070.
- Kennedy, J., P. Dollon, L. Delaby, P. Faverdin, G. Stakelum, and M. Rath. 2003. Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86: 610- 621.
- Kolver, E. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society*. 62: 91-300.
- Koppel, R. E.T., Ortiz G. A., Avila D. A., Lagunas L. J., Castañeda O. G., López G. I., Aguilar B. U., Román P. Villagómez C. J. A, Aguilera S. R., Quiroz V. J., y Calderón R. R. C. 1999. *Manejo de Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico*. INIFAP. CIRGOC. Libro Técnico # 5. Veracruz, Veracruz. México. 158 pp.
- Laredo, M. A. y Cuesta, A. 1988. *Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia*. ICA-Colanta. Segunda Ed. Bogotá, Colombia.
- Lascano, C. E. y Ávila, P. 1991. Potencial de producción de leche en pasturas solas y asociadas con leguminosas adaptadas a suelos ácidos. *Pasturas Tropicales*; 13:2-10.

- Le Du, Y. L. P. and P. D. Penning. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. In: J. D. Leaver (Ed). Herbage Intake Handbook. The British Grassland Society.
- Leaver, J. D. 1985. Milk production from temperature. Grassland J Dairy Res. 52:313-344.
- Leaver, J. D. 1987. The potencial to increase production efficiency from animal- pasture systems. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 47:7-12.
- Lemus, R. V., J. G. García-Muñíz, S. G. Lugo L., E. Valencia G., y B. Villagrán V. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. Veterinaria México 33: 11-26.
- Liconsa, SEDESOL. 2007. Manual de normas de control de calidad de leche cruda. Secretaria de Desarrollo Social. 3 de diciembre del 2013. <http://www.liconsa.gob.mx/wp-content/uploads/2012/01/man-nor-cont-cal-lec-cruda-hist.pdf>
- Littel, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup and R. D. Wolfinger. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- López Ordaz, R., García Carreón, R., García Muñiz, J. G. y Ramírez Valverde, R. 2009a. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. Técnica Pecuaria. 47(4): 435-448.
- López-Ordaz R., Vite-Cristóbal, C., García-Muñiz, J. G., Martínez-Hernández, P. A. 2009b. Reproducción y producción de leche de vacas con distinta proporción de genes *Bos taurus*. Archivos de Zootecnia. 58(224): 683-694.
- Lyimo, Z. C., R Nkya, L Schoonman, and F J C M Van Eerdenburg. 2004. Post-partum reproductive performance of crossbred dairy cattle on smallholder farms in sub-humid coastal Tanzania. Tropical Animal Health and Production. 36: 269-279.
- Martínez Velázquez, G., Borrayo Zepeda, A., Montañó Bermúdez, M., Bustamante Guerrero, J. de J. Palacios Fránquez, J. A., Vega Murillo, V. E. Ríos Utrera, Á. 2012 Producción de leche de vacas Criollo, Guzerat y sus cruza recíprocas F1 y su relación con el peso al destete de las crías. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 3 (4): 501-514.
- Martínez Velázquez, G., Palacios Fránquez, J. A., Bustamante Guerrero, J. de J., Ríos Utrera, Á., Vega Murillo, V. E., Montañó Bermúdez, M. 2010. Composición de leche de vacas Criollo, Guzerat y sus cruza F1 y su relación con el peso al destete de las crías. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 1(4): 311-324.
- Martínez, J. C. G. 1986. Mortalidad de hembras desde el nacimiento a primer parto en bovinos de diferentes genotipos lecheros bajo condiciones de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sci. UCR-CATIE, Turrialba, Costa Rica. P. 132.

- Martínez-Tinajero, J. J., J F Aguirre-Medina, G Martínez-Priego, y G Torres-Hernández. 2006. Comportamiento productivo y reproductivo de tres genotipos bovinos en la región del Soconusco, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical*. 24(2): 109-120.
- Maynard, L. A., J. K. Loosli, H. F. Hintz y R. G. Warner. 1981. *Nutrición Animal*. 7a. ed. McGraw-Hill. México.
- MC Dowell, L. R., J. Velásquez Pereira y G. Valle. 1997. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Tercera Edición. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. 84p.
- McCall, D. G. and D. A. Clark. 1999. Optimized dairy grazing systems in the Northeast United States and New Zealand. II. System analysis. *Journal of Dairy Science*, 82: 1808-1816.
- Meijs, J. A. C., R. J. K. Walters and A. Keen. 1982. Sward methods. In: J. D. Leaver (Ed). *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society.
- Mejía, H. J. 2000. Efecto de dos fuentes proteicas sobre el comportamiento productivo, fermentación ruminal y cinética digestiva en bovinos productores de Carne. *Disertación Doctoral*. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Meléndez Nava, F. 2012. *Principales forrajes para el trópico*. Secretaria de desarrollo agropecuario, forestal y pesca. Primera edición, Cárdenas Tabasco. p 216-225.
- Meléndez, N. F. 1980. Respuesta a la fertilización con N-P-K del pasto Estrella africana en suelos lateríticos y clima Af. Informe de trabajo de investigación del Departamento de Forrajes. Rama Ciencia Animal. Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas, Tabasco, México. P 27-32.
- Mertens, D. R. 1983. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages. *Proc. Cornell Nutrition Conf., Ithaca, N. Y.* pp 60-68.
- Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Anim. Sci.* 64:1548.
- Meza-Nieto, M., González-Córdova, A. F, Becerril-Pérez, C. M., Rosendo-Ponce, A., Díaz-Rivera, P., Ruíz-López, F. J. y Vallejo-Córdova, B. 2012. Relación de las variantes A y B de la β -lactoglobulina con la producción y composición de la leche de vacas Holstein y criollo lechero tropical. *Agrociencia* 46:15-22.
- Minson, J. D. 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press. Sta. Lucia. Queensland, Australia. 483 p.

- Montague, W. D., Laca, E. A. and Greenwood, G. B. 1986. Intake in grazing ruminants: A conceptual framework. In: Feed intake by beef cattle. Symposium Proceedings. Oklahoma State University, USA. p. 208
- Muller, L., Delahoy J. y Bargo F. 2003. Supplementation of lactating cows on pasture. Penn State University 5 p.
- Muñoz, M., Odermatt, P y Altamirano, R. J. 1995. Retos de oportunidades del sistema de leche ante la apertura comercial. Reporte de investigación No. 29. Publicado por el CIESTAAM. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco.
- NRC. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC. 2001. Nutrient requeriment of dairy cattle. 7th revised edition. Nacional Research Council, Nacional Academy Press. Washington D.C., U.S.A.
- Odermatt, P. y Santiago, M. J. 1997. Ventajas comparativas e incentivo político a la producción de leche en México. Comercio Exterior, México. 47: 955-961.
- Ortiz, G. A., Piña, C. B. A. y Martínez R. J. L. 1997. "El modelo GGVATT como estrategia para incrementar la producción de leche en pastoreo en la región montañosa de Veracruz, Acatlán, Veracruz", en memorias del Seminario Taller Nacional del Sistema de Producción de Leche en Pequeña Escala. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca.
- Osorio-Arce M. y Segura-Correa J. 2002. Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatan, México. Livest Res Rural Develop 14:1-9.
- Pareira, J. C., Carmen, S. y de Lemos, A. 1981. Estudio de los factores ambientales y genéticos relacionados con el intervalo entre parto de la raza caracú. Información express. Genética y reproducción. 5 (3):19.
- Parodi, P. W. 1997. Cows milk fat components as potencial anticarcinogenic agents. Journal of Nutrition, 127: 1055-1060.
- Pate, J. L. 1999. Effects of Energy Balance on Ovarian Function. IN: Tri- State Dairy Nutrition Conference. Fort Wayne, Indiana. Pp. 33-40.
- Paterson, J. and M. Kerley. 1987. Discussion of marker methodologies used in grazing experiments and digestibility of forages consumed by grazing animals. In: Grazing Livestock Nutrition Conference (Proceeding). Jackson, Wyoming.

- Peyraud, J. L. and L. Delaby. 2001. Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. In: Garnsworthy PC, Wiseman J (eds). Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press, Nottingham, UK, Pp 203.
- Phillips, C. 2001. Principles of cattle production. CABI. Publishing. Londres, Inglaterra. 288 pp.
- Pirela, M., Perozo-Bravo A., Montero-Urdaneta M., Contreras-Mora G., Valbuena-Colmenaras E. y S. Zambrano-Nava. 2010. Producción y calidad de la leche de vacas Criollo Limonero suplementadas con harina de frutos de samán (*Pithecellobium sama* (Jacq.) Benth) *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 27: 607-625.
- Plasse, D., Bauer, B., Verde, O. y Aragunde, M. 1975. Influencias genéticas y ambientales sobre la ineficiencia reproductiva de vacas criollas cebú y sus cruces. *A.L.P.A. Men.* 10:57 – 73.
- Pond, K. R., J. C. Burns and D. S. Fisher. 1987. External markers - use and methodology in grazing studies. In: Grazing Livestock Nutrition Conference (Proceeding). Jackson, Wyoming.
- Pulido, R. and J. D. Leaver. 2003. Continuous and rotational grazing of dairy cows- the interactions of grazing system with level of milk yield, sward height and concentrate level. *Grass and Forage Science*, 58:265-275.
- Pulido, R. G., Escobar, A., Follert, S., Leiva, M., Orellana, P., Wittwer, F. y Balocchi, O. 2009. Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a pastoreo primaveral con alta disponibilidad de pradera. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 41: 197-204.
- Razz, R. y T. Clavero. 2007. Efecto de la suplementación con concentrado sobre la composición química de la leche en vacas doble propósito pastoreando *Panicum maximum - Leucaena leucocephala*. *Rev. Científica*. XVII (1): 53-57.
- Reyes, G. J., Canudas, L. C. E. G., Juárez, L. F. I. y Palacios, M. F. 2007. Determinación del rendimiento y valor nutritivo de los pastos a través del año para consumo de rumiantes en la zona centro del estado de Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. p. 201.
- Roche, J. F. 2006. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science*. 96: 282-296.

- Rojas, A. F. P., Peducassé, C. A., Aguirre, L. 1988. Digestibilidad *in vitro* en *Brachiaria*, *Decumbens*, *Humidicola* y *Mutica* en época seca. Tesis de licenciatura. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. A. U. G. R. M. Santa Cruz, Bolivia. p 46.
- Rojo, R. R., Mendoza, M. G. D. y Crosby, G. M. M. 2001. Uso de la amilasa termoestable de *Basillus licheniformes* in vitro del almidon de sorgo y maíz. *Agrociencia*. 35: 423-427.
- Rosendo, A. and Becerril, C. M. 2002. Productive performance and genetic parameters in the Tropical Milking Criollo cattle in Mexico. Proc. 7th World Congress Genetic Applied Livestock Production. Montpellier, France. Commun N° 25-25.
- Rosendo, P. A. 1998. Evaluación genética de una población de ganado criollo lechero en el trópico mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.
- Rouse, J. E. 1977. The Criollo: Spanish cattle in the Americas. University of Oklahoma. Press, Norman, Oklahoma, pp.303.
- Ruiz, T. M., E. Bernal., and C. R. Staples. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactanting cows. *Journal of Dairy Science*, 78:305-319.
- Sairanen A., Khalili H., Nousiainen J. I., Ahvenjärvi S. y Huhtanen P. 2005. The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *J. Dairy Sci.* 88:1443-1453.
- Sánchez, M. J. 2002. Uso de Recursos Tropicales en la alimentación del Ganado Lechero. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Santellano-Estrada, E., C M Becerril-Pérez, Yu Mei-Chang, D Gianola, G Torres-Hernández, R Ramírez-Valverde, J Domínguez-Vivieros, y A Rosendo-Ponce. 2011. Caracterización de la lactancia y evaluación genética del ganado Criollo Lechero Tropical utilizando un modelo de regresión aleatoria. *Agrociencia*. 45: 165-175.
- SAS Institute. 2010. SAS 9.3 for Windows. SAS Inst. Cary, NC. USA.
- Soder, K. J., M. A. Sanderson, J. L. Stack, and L. D. Muller. 2006. Intake and performance of lactanting cows grazing diverse forage mixtures. *Journal of Dairy Science*, 89: 2158-2167.
- Stockdale, C. R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Aust J Exp Agric* 40, 913-921.

- Stockdale, R., G. Walker, W. Wales, D. Dalley, A. Birkett, Z. Shen, and P. Doyle. 2003. Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Research*, 70: 267-276.
- Stonaker, H. H. 1975. Beef production systems in the tropics. I. Extensive production systems on infertile soils. *J. Anim. Sci.* 41: 1218-1227.
- Thomas, C.; Reeve, A. and Fisher, G. E. J. 1991. *Milk from Grass*. Segunda Ed. Billingham Press Limited, Cleveland, UK.
- Tzintzun, R. R., García V. A., García Dueñas, P. R., Méndez C. D. M., Sánchez Y., J., Fernández L. H., López T. Q., Álvarez H. H., Varela M. A. I., Lara V. I., Tena M. M. J., Salas R. G., y Ramírez G. R. E. 1997. "La lechería familiar en la "Región Morelia" del estado de Michoacán. Proyecto de Vinculación Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Sector Productivo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo", en *Memorias del Seminario Taller Nacional en Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.
- Vaca, R. J., T. P. Rojas y M. M. Virieux. 2002. Propuesta para la conservación y utilización del bovino Criollo en Chaco Boliviano. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Arch. Zootec.* 51: 33-37.
- Valencia, R. J. y Velasco H. I. 2000. Factores que influyen sobre la productividad en las explotaciones de lechería familiar en la parte sur de los Altos de Jalisco. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. México. 95 pp.
- Valles, M. B., Castillo, E. y Hernández, T. 1992. Producción estacional de leguminosas Forrajeras en Veracruz., México. *Pasturas Tropicales* 14:32-36.
- Van Keulen, J. and B. A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44:282-287.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. Cornell University Press, United States of America. p 458.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597.
- Vazquez, O. P. and T. R. Smith. 2000. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83:2301-2309.

- Vite-Cristóbal C., López-Ordaz R., García-Muñiz., J. G., Ramírez-Valverde R., Ruiz-Flores A. y López-Ordaz R. 2007. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Vet. Mex.* 38 (1):63-79.
- Washburn, S. P., S. L. White, J. T. Green, J. R. and G. A. Benson. 2002. Reproduction, mastitis, and body condition of seasonally calved Holstein and Jersey cows in confinement or pasture systems. *Journal of Dairy Science*, 85:105-111.
- Welch, J. G. y Smith, A. M. 1969. Influence of forage quality on rumination time in sheep. *Jornal Animal of Science.* 28:813.
- West, J. W., B. G. Mullinix and J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86:232-242.
- White, S. L., J. A. Bertrand, M. R. Wade, S. P. Washburn, J. T. Green and T. C. Jenkins. 2001. *Journal of Dairy Science*, 84:2295-2301.
- Williams, C. H., D. J. David and O. Lisma. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic spectrophotometry. *Journal of Agricultural Science (Camb.)*, 59: 381-382.
- Wu, Z., V. R. Kanneganti, L. J. Massingill, M. C. Wiltbank, R. P. Walgenbach, and L. D. Satter. 2001. Milk production of fall-calving dairy cows during summer grazing of grass or grass-clover pasture. *Journal of Dairy Science*, 84: 1166-1173.
- Zorrilla, J. 1979. Determinación del consumo voluntario en condiciones de libre pastoreo. En: *Manual de Técnicas de Investigación en Nutrición de Rumiantes*. Depto. de Nutrición Animal. INIP-SARH.

VII. APÉNDICE

Cálculo de consumo de materia seca del forraje estimado con dos marcadores

El consumo de materia seca del forraje en este experimento se determinó de la forma siguiente: a cada vaca CLT se le dosificó con Cr_2O_3 como marcador externo y se usaron las cenizas ácido insolubles (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). La producción diaria de materia seca fecal se estimó con la fórmula que describe Church (1988).

A cada vaca se le suministró 8 g de óxido de cromo por día⁻¹ en la práctica, sin embargo para estimar la cantidad real de óxido de cromo suministrada a cada animal se presentan los siguientes cálculos:

Elemento	PM	PM TOT	% COM	Cr_2O_3 g día ⁻¹	Cr_2 g día ⁻¹
Cr2	52.01	104.02	68.42	8	5.473
O3	16	48	31.58		
Total		152.02	100		

PM: Peso molecular del elemento cromo.

PMTOT: Peso molecular total del óxido de cromo es decir $52.01 \times 2 = 104.02$ y para el O_3 $16 \times 3 = 48$.

% COM: Porcentaje en el compuesto es decir si 152.02 es al 100% en 104.02 que porcentaje se obtiene y este es $104.02 \times 100 = 10402 / 152.02 = 68.42$ y para $48 \times 100 = 4800 / 152.02 = 31.58$.

Cr_2O_3 g día⁻¹: 8 g de óxido de cromo por día ofrecido al animal.

Cr_2 g día⁻¹: gramos de cromo ofrecido al animal, esto se obtiene de la siguiente forma: si 0.6842 g de Cr_2 es a 1 g de Cr_2O_3 en 8 g de Cr_2O_3 asignados a cada animal cuanto se obtiene, esto es $0.6842 \times 8 = 5.473$ gramos de cromo por día⁻¹.

Al realizar las determinaciones de cromo por absorción atómica, se obtuvo una concentración del marcador en heces (Cr_2) de $0.001943 \text{ g g}^{-1}$ de MS, dato primera vaca del primer periodo sin tomar en cuenta su réplica, con identificación individual "D3".

La producción fecal de cada vaca se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Producción fecal (MS (g día}^{-1}\text{))} = \frac{\text{dosis de marcador (g día}^{-1}\text{)}}{\text{concentración del marcador en heces (g g}^{-1}\text{ MS)}}$$

$$\text{Producción fecal (MS (g día}^{-1}\text{))} = \frac{5.473 \text{ (g día}^{-1}\text{)}}{0.001943 \text{ (g g}^{-1}\text{ MS)}}$$

$$\text{Producción fecal (MS (g día}^{-1}\text{))} = 2816.778 \text{ g día}^{-1} \text{ MS}$$

Consumo de materia seca del pasto (g d⁻¹)

Para el consumo de forraje (kg MS día) de cada animal se estimó con la metodología propuesta por Geerken *et al.*, (1987).

$$\text{Consumo de MS pasto (g día)} = \frac{[(\text{CIA})_E * F] - [(\text{CIA})_c * C]}{(\text{CIA})_p}$$

(CIA)_E= Concentración de cenizas ácido insolubles (CIA) en heces (g kg⁻¹ MS)

(CIA)_C= Concentración de CIA en el suplemento (g kg⁻¹ MS)

(CIA)_P= Concentración de CIA en el pasto (g kg⁻¹ MS)

F= Producción fecal de MS obtenida con la formula descrita anteriormente con el uso de Cr₂O₃ como marcador externo (g d⁻¹)

C= Consumo total del suplemento (g)

Vaca suplementada en un primer periodo con identificación individual "I10"

$$\text{Consumo de MS pasto (g día)} = \frac{[(14.69) * 2580.26] - [(0.471) * 1060.00]}{(5.51)}$$

$$\text{Consumo de MS pasto (g día)} = \frac{(37904.0194) - (499.26)}{5.51}$$

$$\text{Consumo de MS pasto (g día)} = \frac{37404.7594}{5.51}$$

$$\text{Consumo de MS pasto (g día)} = 6788.5225$$

Digestibilidad total de la materia seca (DTMS)

La digestibilidad total de la materia seca (DTMS) se estimó con la fórmula descrita por (Church, 1988)

Vaca suplementada en un primer periodo con identificación individual “I10”

$$\text{DTMS (Pasto + Suplemento) (\%)} = 100 - 100 \frac{(\% \text{ de CIA en alimento})}{(\% \text{ de CIA en heces})}$$

$$\text{DTMS (Pasto + Suplemento) (\%)} = 100 - 100 \frac{(0.471)}{(14.69)}$$

$$\text{DTMS (Pasto + Suplemento) (\%)} = 96.793$$