



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación del balance nutricional y comportamiento reproductivo de ganado lechero bajo un sistema silvopastoril intensivo en bosque seco tropical Colombiano.

Elisa Sierra Montoya

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Producción Animal
Medellín, Colombia
2014

Evaluación del balance nutricional y comportamiento reproductivo de ganado lechero bajo un sistema silvopastoril intensivo en bosque seco tropical Colombiano.

Elisa Sierra Montoya

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias

Director:
BscMSc PhD. Rolando Barahona-Rosales.

Codirectora:
MV MSc PhD. Z Tatiana Ruíz-Cortés

Línea de Investigación:
Producción y Nutrición Animal

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Producción Animal
Medellín, Colombia
2014

A mi familia: fuente de perseverancia y amor.

Agradecimientos

A mi familia, por su apoyo, comprensión y motivación. Por ayudarme y sostenerme en los vientos más difíciles. Por brindarme su amor incondicional e irradiarme su gran sentimiento de fortaleza, perseverancia y lucha permanente.

A quienes ya dejaron este mundo y a mi Dios, por hacerme saber que no estoy sola y por acompañarme siempre. Desde el más allá aún viven en mi espíritu.

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por haberme acogido durante mi posgrado. Por permitirme conocer un mundo académico y científico totalmente valioso.

Profesor Dr **Rolando Barahona R.** Bsc MSc PhD. Universidad Nacional de Colombia. Por abrirme las puertas, apoyarme, orientarme, ilustrarme y acompañarme en este proceso, por su paciencia y prudencia y por creer en mí. Por ayudarme a conocer experiencias internacionales y motivarme a continuar con mis estudios.

Profesora Dr **Z Tatiana Ruíz Cortés** MV MSc PhD. Universidad de Antioquia. Por sus valiosas recomendaciones profesionales y personales, por su paciencia y amistad.

Profesor Dr **Guillermo Antonio Correa L.** Ingeniero Forestal. MSc. PhD. Universidad Nacional de Colombia. Por el tiempo y paciencia dedicada a ilustrarme sobre lo relacionado con el análisis estadístico.

Dr **Claudia Jiménez E.** Y **Liliana Mahecha L.** Evaluadores que con sus recomendaciones y aportes permitieron que este trabajo se enriqueciera.

Fundación CIPAV, por permitirme conocer nuevas experiencias de campo, su apoyo logístico y lo relacionado con los experimentos en campo. A su personal por la paciencia y apoyo.

Grupo de Investigación Biogénesis. Universidad de Antioquia por facilitar los espacios para socializar resultados y publicaciones. Igualmente, por apoyar el

financiamiento de la internacionalización de los productos obtenidos en esta investigación en República Popular de China a través de publicaciones y presentaciones orales.

COLCIENCIAS y FEDEGAN, por la financiación del proyecto “Investigaciones para el incremento de la productividad silvopastoril y los servicios ambientales en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible”,

Hacienda El Chaco. Por permitir y facilitar la realización de la evaluación en campo. Por acogernos durante ocho meses y colaborarnos en todo lo requerido. A la Familia Mejía Fortich, por aceptar la solicitud de caracterizar su hato lechero y agilizar trámites y necesidades en campo. Finalmente agradecer a el personal, encargados del Hato, Pantaleón Castillo y ayudantes en campo, por toda la ayuda recibida para la realización de dicho proyecto. Gracias Familia.

Andrea Mejía y Alexander Balbín. Zootecnistas. Por su colaboración en la colecta de registros y muestras en campo. Por su apoyo durante la ejecución de la investigación y su entrega permanente.

Isabel Cristina Molina. Zootecnista (c) MSc. **Raquel Salazar** Médica Veterinaria (c) MSc, **Claudia P. Sossa** Zootecnista (c) MSc y **Xiomara Gaviria** Zootecnista (c) MSc. Universidad Nacional de Colombia. Por su ayuda durante el estudio.

Maria Bottini, Samuel Albores, Wilyer García, Alexis Ruiz, Monica Cardozo, Rafael Torrez, Irina Peniche, Luis Carlos Cogollo, Daniele Cristine Beuron, Natasha Korsun, Juliana Casals, quienes en el transcurso de mi formación me apoyaron generosamente.

Javier Chica P. Zootecnista MSc y **Oscar Machado** Zootecnista. Por su apoyo para mi iniciación en estudios de posgrado.

Iván Esquivel, Ingeniero Forestal y su equipo de trabajo y **Miguel A. Calle**, Zootecnista. Por permitirme realizar mi iniciación en el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la Costa Norte. Por su apoyo y amistad.

Diego R. Chamorro V. Zootecnista MSc (c) PhD. Por su apoyo en la realización de este trabajo, su buena energía, y recomendaciones valiosas. Por abrirme un mundo de conocimiento en el exterior.

Maria Ibonne Galeano, Secretaria de Geociencias y **Diana Ospina**, Bibliotecóloga Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Por su apoyo y ayuda incondicional.

Resumen

Se evaluó el balance nutricional (proteína (PM), energía (EM), calcio (Ca) y fósforo (P)) en vacas F1 Gyr x Holstein entre la segunda y cuarta lactancia, en el período postparto, durante dos momentos: en el parto ($n = 12$) y en la lactancia temprana (42 y 50 días postparto)($n = 12$) con manejo nutricional bajo Sistema silvopastoril intensivo (SSPi) compuesto por *Leucaena leucocephala* y *Cynodon plectostachyus* y demás suplementos de la dieta y bajo el escenario de consumo únicamente de forrajes, en bosque seco tropical Colombiano. Se tomaron muestras de los alimentos de la dieta de los animales y se estimó el balance nutricional a través del Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS Version 5.0.4). Así mismo, se cuantificó el consumo de forraje a través de aforos en las franjas de SSPi. En lactancia temprana los requerimientos de EM fueron mayores que en el parto. Los requerimientos nutricionales al parto y lactancia temprana de PM, Ca y P fueron cubiertos y el balance nutricional fue positivo cuando consumieron SSPi y suplementos, mientras que dicho balance se comportó negativamente en el escenario de consumo exclusivo de forrajes de SSPi tanto en las recién partidas, como en lactancia temprana. La energía es un factor limitante en el período postparto de la vaca. Así mismo se describió el comportamiento reproductivo de las vacas con menos de 50 días en el período postparto al primer servicio (Grupo 1; $n=7$) y mas de 50 días al primer servicio (Grupo 2; $n=8$) Gyr x Holstein bajo el mismo manejo alimenticio, resaltando un buen desempeño reproductivo del Grupo 1 presentando un balance nutricional positivo, en términos de servicios por concepción, días abiertos, intervalo parto primer servicio, intervalo entre partos, mientras que el Grupo 2, aunque no presentó diferencias significativas frente al Grupo 1, mostró dichos parámetros reproductivos mas abiertos, experimentando un balance energético negativo. Igualmente se encontró que el perfil de progesterona en suero en el período postparto de dichos grupos no difirió estadísticamente. Se encontró que niveles energía en la dieta son necesarios para un óptimo desempeño reproductivo de dichas vacas.

Palabras clave: Balance de energía, Eficiencia reproductiva, Leucaena, Progesterona, Sistema silvopastoril

Abstract

The nutritional balance (protein (MP), energy (ME), calcium (Ca), phosphorus (P)) of crossbred cows (Gyr x Holstein) between the 2nd and 4th lactation in postpartum period at two moments: calving (RC; $n=12$) and early lactation (days 42-50 at postpartum) (EL; $n=12$) grazing an intensive silvopastoral system (ISS) with *Leucaena leucocephala* and *Cynodon plectostachyus*, plus supplements and under the scenery of exclusive forage consumption, located in tropical dry forest was described. Feed samples were collected to determine the chemical composition and a nutritional balance was estimated using the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS Version 5.0.4). Furthermore, the forage intake was estimated through the grass and legume quantification on the ISS paddocks. At EL, the energy requirements were higher than in RC. The nutritional requirements at calving and early lactation of MP, ME, Ca and P, were supplied and the nutritional balance was positive when animals ingested forages of ISS and supplements. However, the nutritional balance was negative under the scenery of exclusive forage intake. The energy was a limitant factor at the postpartum period of the dairy cow. A reproductive characterization was performed to crossbred cows that exhibited the first service at the postpartum period before 50 days (Group 1; $n=7$) and after 50 days (Group 2; $n=8$) grazing ISS. Parameters such as services per conception, days open, interval, calving interval did not differ statistically between both groups, but were better for group 1 who had a positive nutritional balance, while group 2 exhibited a negative energy balance and longer reproductive parameters. Serum progesterone concentration was measured but did not differ between both groups. Correct concentrations of energy are necessary to optimize the reproductive behavior of dairy cows.

Keywords: Energy balance reproductive efficiency, *Leucaena*, Progesterone, Silvopastoral System

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract.....	X
Contenido	XI
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1 Capítulo 1. Generalidades de aspectos nutricionales y reproductivos en hatos bovinos y su interacción en ganadería de leche con énfasis en Sistemas Silvopastoriles. Revisión	6
1.1 Generalidades de la Producción Bovina en Colombia y el departamento del Tolima.	6
1.2 Requerimientos nutricionales de ganado lechero en el período postparto	8
1.2.1 Requerimientos de energía.....	8
1.2.2 Requerimientos de proteína.....	12
1.2.3 Requerimientos de fibra	13
1.2.4 Requerimientos de minerales	14
1.2.5 Requerimientos de vitaminas.....	16
1.3 Fisiología reproductiva del período preparto, parto y postparto: eventos y hormonas involucradas.....	18
1.3.1 Período preparto de la vaca.....	18
1.3.2 Parto de la vaca	20
1.3.3 Período postparto de la vaca	21
1.4 Parámetros reproductivos de ganado bovino en Colombia.....	23
1.5 Efecto de la alimentación de ganado bovino lechero sobre su desempeño reproductivo	26
1.5.1 Consumo de materia seca y sus efectos sobre el desempeño reproductivo en vacas en lactancia temprana	27
1.5.2 Niveles de energía en la dieta y sus efectos sobre el desempeño reproductivo en vacas en lactancia	29
1.5.3 Niveles de proteína en la dieta y sus efectos en el desempeño reproductivo en vacas lactantes	35
1.6 Sistemas silvopastoriles para alimentación de ganado bovino	37
1.7 Conclusiones	40

Literatura citada	41
2 Capítulo . Reproductive Trends in Cebu Cattle grazing rice crop residues in Colombia Tropical dry forest.....	60
2.1 Introduction.....	61
2.2 Materials and methods.....	61
2.2.1 Evaluated variables on cows	62
2.3 Statistical Analysis.....	62
2.4 Results	62
2.5 Discussion.....	65
2.6 Conclusions.....	66
2.7 Acknowledgements	66
2.8 References.....	67
3 Capítulo 3. Conducta reproductiva de vacas lecheras cruzadas pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos del bosque seco tropical Colombiano.....	69
Abstract	70
3.1 Introducción.....	70
3.2 Materiales y métodos	71
3.2.1 Localización	71
3.2.2 Animales y alimentación	71
3.2.3 Análisis productivo y reproductivo	72
3.3 Análisis estadístico.....	72
3.4 Resultados y discusión.....	72
3.5 Conclusiones.....	74
3.6 Agradecimientos.....	75
3.7 Referencias	76
4 Conclusión general	78
5 Recomendaciones	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Niveles de progesterona en vacas gestantes (línea negra) y repetidoras de celo (línea gris) en el Sur de España. Tomado de Pérez, Rodríguez, et al, 2002.....	19
Figura 2-1. Age at first calving and open days in primiparous Cebu cows (n=89) from 1999 to 2012 at Hacienda Calicanto, Colombia, SouthAmerica.....	63
Figura 2.2. Open days (months) and calving interval (months) of multiparous Cebu cows (n=309) from 1999 to 2012 at Hacienda Calicanto, Colombia, SouthAmerica.....	64
Figura 2.3. Average rainfall for 2 year-period from 1999 until 2012 at Hacienda Calicanto. Colombia, SouthAmerica.....	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Requerimientos de energía metabolizable (MJ EM) por litro de leche producido según su composición de grasa y proteína. (Tomado de: MAFF, 1984).....	11
Tabla 1-2. Guía de concentración de minerales en la dieta de rumiantes. (Tomado de CSIRO,2007).....	14
Tabla 1-3. Coeficientes de absorción de Ca, P y K. (Adaptado de Fox et al, 2000).....	15
Tabla 1-4. Recomendaciones de los niveles de Ca y P en vacas. (Adaptado de CSIRO, 2007).....	16
Tabla 1-5. Requerimiento nutricionales de vitaminas en vacas lecheras. (Adaptado de NRC, 2001).....	18
Tabla 1-6. Comportamiento reproductivo en sistemas de producción ganadero en Colombia.....	23
Tabla 2.1. Bromatologic analysis of rice straw and amonificated rice straw consumed by Cebu cows at Hacienda Calicanto. Colombia. SouthAmerica.....	65
Tabla 3.1. Población analizada (n) durante el estudio retrospective en Hacienda Lucerna de 2004 a 2010 para cada parámetro estudiado.....	73
Tabla 3.2. Comportamiento productive y reproductive de vacas lecheras en Hacienda Lucerna.....	74

Introducción

Es bien conocido que el gobierno de la República de Colombia en la Constitución Política de 1991, ha propuesto varios artículos para desarrollar normas y políticas que promuevan la productividad y sostenibilidad del sector agropecuario. Basados en este contexto, existen varios planteamientos y propuestas en las que se proponen estrategias que permitan cumplir dichos lineamientos. En orden cronológico, aparece el “Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019”, por una ganadería moderna y solidaria (Fedegan, 2006a), que estableció que para el año 2019 el hato bovino se duplicaría en población, es decir, que pasaría en el año 2005 de tener un inventario bovino de 23 millones de cabezas a contar en el 2019 con aproximadamente 48 millones de cabezas, reduciendo a su vez el área dedicada al pastoreo para dicha explotación en casi un 50% (pasando de pastorear en 38,3 millones de hectáreas a 19,3 millones de hectáreas según el uso potencial del suelo). Dicho planteamiento se propone con el fin de incrementar la productividad del hato en términos de carne y leche y la tasa de extracción representada en sacrificio de animales.

Por su parte, en la propuesta oficial para discusión denominada Visión Colombia II Centenario: 2019, Aprovechar las potencialidades del campo (Dirección de Desarrollo Rural Sostenible, 2007), se propuso reconvertir los sistemas ganaderos por medio de la estrategia de incrementar la eficiencia y productividad de dichas explotaciones a través de un aumento de la carga animal por hectárea de aproximadamente un punto, pasando de 0,6 cabezas/Ha a 1,5 cabezas/Ha, hecho simultáneo al retorno de la tierra cuya vocación es netamente forestal y actualmente es utilizada para explotaciones ganaderas. Así mismo, el “Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. Estado Comunitario: Desarrollo para todos” (DNP, 2007b), en el contexto de incrementar el crecimiento y la competitividad agropecuaria, planteó apoyar la productividad y reconversión de dicho sector a través de incentivos, investigación y transferencia de tecnologías, aperturas de nuevos mercados, entre otros.

Entre tanto y de gran importancia para el sector ganadero, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) determinó en 2010 la “Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo Colombiano” (DNP, 2010), cuyo

principal objetivo es mejorar “la competitividad del sector lácteo colombiano” en términos de productividad, inocuidad y calidad. Por otro lado, en las últimas décadas y *ad portas* de un mundo con economías globalizadas, Colombia ha establecido acuerdos de libre comercio con varios países, entre ellos Estados Unidos de América, Estados Unidos Mexicanos y la República de Perú con el fin de comercializar productos nacionales que tengan ventajas competitivas y comparativas y que cuenten con óptimos estándares de calidad e inocuidad. Se ha reportado que el crecimiento demográfico, la movilización de la población desde el entorno rural hacia las ciudades y el incremento de los ingresos económicos en los países en desarrollo generan un aumento en la “demanda de alimentos de origen animal” (Delgado et al., 1999).

Finalmente la FAO informó que los continentes Asiático y Africano, debido a su gran crecimiento poblacional, se convirtieron en 2013 en los principales mercados para los productos de origen lácteo (FAO, 2013). Para cumplir dichos propósitos establecidos en los planteamientos anteriores, el hato ganadero Colombiano, especialmente el lechero, necesita ser reconvertido en términos de carga animal, eficiencia productiva, en lo que respecta a carne y leche, y a su vez el mejoramiento del desempeño reproductivo. El financiamiento para el sector necesita tecnificar las explotaciones y reducir los costos de producción, mejorar las alternativas alimenticias, establecer parámetros de selección genética, entre otros.

En Colombia, Fedegán reportó para el año 2005 un inventario bovino de 23 millones de cabezas con un sacrificio de 3.8 millones de cabezas. La tasa de natalidad, el intervalo entre partos y la edad al primer parto para dicho año fue del 53% y 695 días y 39 meses respectivamente. En cuanto a la ganancia de peso, diariamente se incrementaba 350 gr, para alcanzar un peso de 142 kg al destete (Fedegán, 2006b). Con respecto a la producción de leche, se reporta que en explotaciones de lechería especializada, se producían 3.008 litros/cabeza/año (Fedegán, 2006b). El promedio nacional de producción diaria de leche para 2006 fue de 4,8 litros/vaca/día, registrándose bajos niveles de proteína, grasa y sólidos totales (DNP, 2010). Sin embargo, aunque Fedegán reportó que la producción lechera de la raza Holstein era de aproximadamente 17,8 litros/vaca/día, el comportamiento reproductivo de dichas vacas estaba representado por 164 días abiertos, 34,4 meses al primer parto, 102,2 días al primer servicio en el período postparto y 438 días entre parto y parto. En este contexto y retomando los lineamientos políticos y comerciales en Colombia, los sistemas ganaderos deben incrementar la productividad cárnica y lechera a través del mejoramiento del desempeño reproductivo del mismo, para lograr la rentabilidad y sostenibilidad sin atentar contra la integridad del medio ambiente.

Elisa Sierra Montoya 13/7/2015 11:57 P.M.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pt, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Elisa Sierra Montoya 13/7/2015 10:40 P.M.

Eliminado: Introducción

Según los objetivos propuestos por los anteriores proyectos, se ha planteado la utilización de sistemas de producción ganadera mas eficientes, sostenibles y de bajo impacto ambiental (Dirección de Desarrollo Rural Sostenible, 2007). Dichas alternativas sugieren estimular la implementación de pasturas mejoradas, sistemas silvopastoriles (SSP) y mejorar la alimentación y la genética de dicho hato. Los sistemas silvopastoriles, estrategia intermedia entre las producciones intensivas y extensivas, en donde las especies leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral (Uribe et al., 2011), se presentan como una de las alternativas propuestas para incrementar la productividad y competitividad de las explotaciones ganaderas siendo amigables con el ambiente. Existen varios reportes a nivel nacional en los cuales se evidencia la utilización de ésta alternativa para mejorar la productividad del hato ganadero, entre los cuales se menciona: ganancias diarias de peso de 863 y 796 gr para ganado cruzado bajo SSP con *L.leucocephala* y *C. plectostachyus* y árboles maderables (Mahecha et al., 2011), aumento en la capacidad de carga en SSP del orden de 87,5 y 166,6% y un incremento entre el 20 y 35% en la producción de leche (Murgueitio et al., 2006). Con el fin de satisfacer los planteamientos comerciales y políticos del sector ganadero, se debe impulsar el establecimiento de los sistemas anteriormente mencionados, con el fin de incrementar el consumo de la biomasa forrajera, desarrollar un desempeño reproductivo superior y generar empresas ganaderas sostenibles y rentables ejecutando el menor impacto al medio ambiente. Existe entonces la necesidad de incrementar la productividad animal, pero se deben llevar a cabo procesos investigativos en los cuales, a través del establecimiento de núcleos de SSP, se recolecten resultados del balance nutricional y desempeño reproductivo en donde se justifique y resalte la importancia de dichos sistemas y posteriormente se conlleve a la transferencia e innovación tecnológica. Dicho abordaje sugiere la descripción, caracterización y evaluación inicial de ganaderías bajo SSP, para generar reportes de comportamiento productivo y reproductivo del ganado en Colombia.

El objetivo del presente trabajo es contribuir al estudio y evaluación del uso de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) como sistemas sostenibles de producción ganadera en el trópico bajo colombiano. Este aporte al desarrollo del proyecto Ganadería Colombiana Sostenible se genera a partir de la evaluación del efecto de la oferta aliemnticia sobre el balance nutricional, consumo de materia seca y nutrientes de ganado lechero que pastorea sistemas silvopastoriles intensivos en bosque seco tropical colombiano, y del desempeño reproductivo del mismo y las correlaciones entre dicho balance nutricional y el comportamiento reproductivo Los objetivos específicos, que se desarrollan por separado en dos capítulos, son evaluar el consumo de materia seca, nutrientes y

Elisa Sierra Mont..., 13/7/2015 11:57 P.M.

Con formato: Fuente: (Predeterminado)
Arial, 11 pt, Sin Negrita, Color de fuente:

Elisa Sierra Mont..., 13/7/2015 10:40 P.M.

Eliminado: Introducción

balance nutricional de vacas lecheras en período postparto pastoreando SSPi y evaluar el comportamiento reproductivo y su correlación con balance nutricional de vacas lecheras que pastorean SSPi en bosque seco tropical Colombiano.

La hipótesis establecida se enmarca en que los sistemas silvopastoriles intensivos son una alternativa promisorio y sostenible de producción ganadera debido a que cubren los requerimientos nutricionales y mejoran el desempeño reproductivo del ganado bovino.

Con la presente investigación se pretende valorar el comportamiento nutricional y reproductivo de los sistemas de producción ganadera pastoreando SSPi, bajo condiciones de alimentación, sanidad y manejo específicas. Los resultados obtenidos en esta investigación son particulares a este hato, y por lo tanto se debe limitar la extrapolación de lo encontrado y recomendaciones a otros hatos.

Este documento se organiza en tres capítulos. El primer capítulo relata el estado de arte del status nutricional y reproductivo y la interacción entre ambos factores en ganado bovino. Se mencionan y sugieren los efectos del ámbito nutricional sobre el desempeño reproductivo. En el 2º capítulo, se presenta el primer artículo de producción científica en el cual se exponen los resultados del balance nutricional del ganado lechero cuando consume SSPi. Se discute el consumo de materia seca y nutrientes en dos categorías de producción lechera, un escenario de balance nutricional bajo consumo exclusivo de forrajes del SSPi y la resiliencia de los forrajes del SSPi frente a distintas épocas.

En el 3 y último capítulo, se exponen los resultados de la evaluación reproductiva de vacas lecheras en SSPi en bosque seco tropical Colombiano. Se presentan resultados comparativos de consumo de materia seca y nutrientes entre dos grupos de vacas, sus diferencias en cuanto a balance nutricional, peso vivo, producción de leche comportamiento reproductivo, correlaciones entre balance nutricional y reproductivos y perfil de progesterona descrito para los grupos de vacas formados. Se discuten y comparan los hallazgos con publicaciones mundiales, para socializar y enmarcar dichos hallazgos como argumentos para contribuir a la expansión del establecimiento y uso de los SSPi.

Elisa Sierra Montoya 13/7/2015 11:57 P.M.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pt, Sin Negrita, Color de fuente: Automático

Elisa Sierra Montoya 13/7/2015 10:40 P.M.

Eliminado: Introducción

Literatura Citada

- Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S., & Courbois, C. 1999. Livestock to 2020 The Next Food Revolution (p. 83).
- Departamento Nacional de Planeación. 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 "Estado Comunitario: Desarrollo para Todos." 32 p
- Departamento Nacional de Planeación. Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes. 2010. Política Nacional para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo Colombiano. Conpes 3675. (p. 50). Bogotá D.C.
- Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. 2007. Visión Colombia: II Centenario. Aprovechar las potencialidades del campo. (p. 86). Bogotá, Colombia.
- FAO. 2013. Perspectivas alimentarias (Resúmenes de mercado) (p. 16). [En línea]. <<http://www.fao.org/docrep/018/al999s/al999s.pdf>> [Citado Abril 23 de 2014]
- Fedegan. 2006a. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana, 2019 (p. 294). Bogotá D.C. doi:978-958-98018-1-9.
- Fedegan. 2006b. La visión de Corpoica para el mejoramiento del hato bovino nacional. (p.33)[En línea] <<http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/MejoramientoganaderiaCORPOICA.pdf>> [Citado Abril 25 de 2014]
- Mahecha, L., Murgueitio, MM., Angulo, J., Olivera, M., Zapata, A., Cuartas, C., Naranjo JF., Murgueitio, E. 2011. Desempeño animal y características de la canal de dos grupos raciales de bovinos doble propósito pastoreando en Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Rev Col Cienc Pec, 24(4).
- Murgueitio, E., Cuellar, P., Ibrahim, M., Gobbi, J., Cuartas, C., Naranjo, JF, Zapata, A., Mejía, CE., Zuluaga, AF.,Cassasola, F. 2006. Adopción de sistemas agroforestales pecuarios. Adoption of agroforestry systems for animal production. Pastos Y Forrajes, 29(4), 365–379.
- Uribe, F., Zuluaga, A., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A., Solarte, L., ... Soto, R. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible . (GEF, Banco Mundial, Fedegan, CIPAV, Fondo Accion, Ed.) (pp. 1–78). Bogotá, Colombia.

1 Capítulo 1. Generalidades de aspectos nutricionales y reproductivos en hatos bovinos y su interacción en ganadería de leche con énfasis en Sistemas Silvopastoriles. Revisión

1.1 Generalidades de la Producción Bovina en Colombia y el departamento del Tolima.

Los sistemas de producción ganadera constituyen el 40% de producción agropecuaria del mundo (FAO, 2009) contribuyendo hacia la subsistencia de las familias, la seguridad alimentaria, la generación de empleo y la reducción de pobreza (Dirección de Desarrollo Rural Sostenible, 2007, FAO, 2009, Fedegan, 2006b), siendo un sector importante para el crecimiento económico y social de los países en vía de desarrollo (FAO, 2009). Como lo reporta la FAO, el ganado contribuye el 15% de la energía alimentaria mundial y el 25% de la proteína de la dieta, además de aportar micronutrientes esenciales que no se obtienen a partir de otros alimentos, como los vegetales (FAO, 2009).

Colombia, país ubicado en la zona ecuatorial e intertropical, se ubicó en el año 2010 en el tercer puesto con su inventario ganadero frente al resto de países de Suramérica, después de Argentina y Brasil y en el doceavo lugar a nivel mundial (DNP, 2010). A nivel nacional, la actividad ganadera es ampliamente reconocida, pues aporta el 3.5% al Producto Interno Bruto (PIB) (DNP, 2010). Dicha producción genera un 27% del PIB agropecuario y un 64% del PIB pecuario, aportando ingresos muy significativos a la economía nacional (Fedegan, 2006b). Se estima que Colombia destina aproximadamente un 79,7% de su suelo agrícola a la actividad pecuaria (DANE, 2013), es decir, unas 30.000.649 Has, en las que

en el 2012 hubo un inventario de ganado vacuno de 20.432.140 cabezas, 60.7% de los cuales eran hembras (DANE, 2013). Dicho suelo para uso pecuario se distribuye entre pastos y forrajes (65.2%), arvenses (21.4%) y vegetaciones especiales (13.4%) como sabanas, páramos y vegetación xerofítica (DANE, 2013). De éste hato ganadero, la lechería especializada representa el 11.9%, con 2.422.531 animales; la producción de carne representa un 49.6%, participando con 10.142.075 cabezas y finalmente la explotación doble propósito constituye el 38.5% (DANE, 2013), es decir, 7.867.534 animales. Ésta última se caracteriza por generar leche, producto del ordeño de un número considerable vacas en lactancia (Balcázar, 1994) y carne proveniente de terneros destetos o levante u otra categoría fisiológica que permita vender este producto.

Es frecuente encontrar hatos dedicados a la producción exclusiva de leche en la zona Altoandina, referenciándose en Colombia que los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Boyacá presentan la mayor producción de leche (DANE, 2013). Estos sistemas de lechería especializada aportan aproximadamente un 52% al total de leche producida en el país (Ceballos et al., 2002). Por su parte, el departamento del Tolima, ubicado estratégicamente en el centro-occidente del país, participa en el inventario bovino a nivel nacional con el 4.1%, representado por aproximadamente 833.913 cabezas de vacunos (DANE, 2013), que se encuentran pastoreando 1'169.557 hectáreas de pasturas (Cortolima, 2013). De dicho inventario, aproximadamente 190.404 cabezas son hembras mayores de 36 meses, de las cuales 70.861 se encuentran en ordeño, produciendo por día unos 219.417 litros de leche (DANE, 2013).

Este departamento aporta el 1.7% a la producción de leche a nivel nacional (DANE, 2013), y en su territorio la orientación a las explotaciones ganaderas se inclinan hacia la producción doble propósito (68.53%), ubicadas en el trópico bajo Colombiano, en proximidades de los valles del río Magdalena, cuya importancia recae en que produce tanto carne como leche para las necesidades de la población a nivel nacional (Balcázar, 1994; González, 2001). Sin embargo, existen hatos dedicados a la producción de lechería especializada del orden del 39% (MADR, 2013). Usualmente, la ganadería en esta región se realiza de forma extensiva, debido a que las explotaciones utilizan pasturas y gramíneas nativas (*Hyparrhenia rufa*, *Paspalum spp*, *Bothriochloa pertusa*) que presentan baja oferta de biomasa forrajera en los largos periodos de verano (Incoder, MADR, & Corpoica, 2005) y por consiguiente disminuyen la capacidad de carga de animales por hectárea (Murgueitio, 2003). En algunos casos, se administra suplementación a dicho ganado. La productividad de leche en este departamento es de aproximadamente 3,1 litros/vaca/día (DANE, 2013), aunque el MADR

reportó para el II trimestre del mismo año una productividad diaria por vaca de 6.1 litros (MADR, 2013), evidenciándose la baja capacidad del hato lechero de generar dicho producto. El hato lechero ubicado en esta zona, se caracteriza por utilizar cruzamientos *Bos taurus*- *Bos indicus* y ganado criollo, de alta adaptación a las condiciones medioambientales y parasitarias que se presentan (Fedegan, 2006b).

Aproximadamente, el 60% de la leche producida en 2007 en el departamento del Tolimase destinó para el comercio de leche cruda, un porcentaje del 30% es vendida a pasteurizadoras de otros departamentos y el restante 10% es requerido para la industria de derivados lácteos típicos de la zona (DNP, 2007a).

1.2 Requerimientos nutricionales de ganado lechero en el período postparto

1.2.1 Requerimientos de energía

En el período postparto de las vacas lecheras, se mencionan como requerimientos de energía aquellos que son necesarios para su mantenimiento y lactancia, siempre y cuando la vaca no se encuentre en su primer parto, situación en la cual se deben resaltar sus exigencias energéticas para su crecimiento. Los altos requerimientos de energía provienen de la síntesis de calostro y leche en la lactancia temprana y el útero grávido en el último tercio de la gestación (Bauman y Currie, 1980). Butler & Smith (1989) indicaron que las demandas de energía para la síntesis de leche puede triplicar los requerimientos de mantenimiento durante la lactancia temprana.

Los requerimientos energéticos varían según la raza y edad, el estado fisiológico, el estrés calórico, las condiciones medioambientales en las cuales se desempeña, las actividades diarias, la producción y la composición de dicha leche y la condición corporal (CSIRO, 2007b; Fox et al., 1992). Se ha mencionado que los requerimientos energéticos de mantenimiento disminuyen con la edad, a una tasa de 8% por año, llegando a ser finalmente cero cuando el animal alcanza la edad de seis años (Graham et al., 1974). Con respecto a las condiciones medioambientales, en situaciones de estrés calórico por altas temperaturas del ambiente, se reduce el consumo de materia seca, pero se aumenta la tasa de metabolismo basal, por lo cual se incrementan los requerimientos energéticos de mantenimiento (CSIRO, 2007b).

Como balance energético (BE) se refiere a la relación entre el consumo de energía y la utilización de la misma (Yang, 2009). Dicho balance indica la diferencia entre la energía consumida y la energía requerida por la vaca (Lucy., 1991). Los requerimientos de energía se describen como la Energía Metabolizable exigida por día (EM: MJ/d) (CSIRO, 2007b). Los requerimientos se destinan inicialmente para el mantenimiento de procesos vitales en el cuerpo, como consumo de oxígeno en tejido intestinal y absorción y metabolismo de nutrientes digeridos en el hígado (Seal & Reynolds, 1993) la homeotermia y actividades físicas realizadas a diario (respiración, caminar, aprehensión y masticación, cambio de posición, levantarse del suelo, etc) (Moran, 2005). Se reporta que la energía requerida incrementa en diferente proporción si actividades diarias como el acercamiento al establo de ordeño se hace en terreno plano o con pendiente (1 MJ EM y 5 MJ EM respectivamente) (Jacobs & Hargreaves, 1999). Estos requerimientos basales de mantenimiento se expresan en función del peso metabólico (MW) del animal (CSIRO, 2007b). Varias fuentes reportan similares requerimientos de energía para el mantenimiento en vacas de aproximadamente 300 Kg de peso vivo (24,3, 25,5 y 23,3 MJ/d de energía neta de mantenimiento)(ARC, 1980; MAFF, 1984; NRC, 1989).

Se ha reportado que los requerimientos de energía/día son 10% mayores en ganado con 50 % de composición *Bos taurus*, comparado con vacas Nellore (Calegare et al., 2007), coincidiendo con lo reportado por Jenkins et al. (1991) que mencionó mayores requerimientos energéticos en vacas con mayor peso corporal y producción de leche, reportando altas demandas de energía de la raza lechera Pardo Suizo (29.1 Mcal/d) frente a Red Poll (26.5 Mcal/d) y Angus x Hereford (26.9 Mcal/d).

El período postparto inicia con la producción del calostro y continúa con el aumento de producción lechera (Tucker, 1985). Con éste fenómeno, acontece que la glándula mamaria incrementa su metabolismo, aumentando el flujo sanguíneo para obtener nutrientes, como la glucosa, necesaria para sintetizar componentes de la leche como la lactosa (Nóbrega-deFaria, 2009), que determina el volumen de producción de las vacas lecheras (Cunningham, 2003). La energía requerida para la lactancia es la energía contenida en la leche producida (NRC, 2001). Este proceso de lactancia tiene en cuenta la energía neta requerida para el calor de combustión de la grasa, proteína y lactosa, es decir, la calidad composicional de la leche. Entre mayor cantidad de grasa y proteína contenida en la leche, mayor es la necesidad de energía para sintetizar dichos componentes (MAFF, 1984) (Ver Tabla 1). Presentando los rumiantes procesos de digestión fermentativa de los carbohidratos en el rumen, la glucosa que llega al tracto digestivo posterior para su digestión glandular y absorción se encuentra

como carbohidratos indigeribles. Aproximadamente entre un 70-90% de los carbohidratos estructurales y no estructurales (almidón y azúcares) de la dieta son degradados en el rumen y transformados junto a la proteína verdadera y el nitrógeno no protéico a ácidos grasos volátiles (AGV: acético, propiónico y butírico) (Gallego, 2009). Este hecho genera que los rumiantes se mantengan en un estado de deficiencia de glucosa (Cunningham, 2003), por la baja absorción de dicho nutriente, requerido para procesos tan vitales como la conducción nerviosa, la síntesis de leche en la glándula mamaria y la reactivación ovárica e involución uterina (Bergman, 1983). Como respuesta fisiológica, el rumiante ha desarrollado mecanismos para producir y almacenar este nutriente, como es el caso de la gluconeogénesis, en el cual, a través de la transformación del ácido propiónico (ácido graso volátil), que genera succinato, intermediario capaz de ingresar al ciclo de Krebs, se sintetiza glucosa (Cunningham, 2003). Igualmente, este mecanismo utiliza el glicerol, producto de la movilización del tejido adiposo o hidrólisis a los triglicéridos de la dieta por parte de los microorganismos ruminales (Angulo et al., 2005, Overton et al. 1998).

En sistemas de lechería especializada, en donde se tienen vacas de alta producción, gran parte de la glucosa sintetizada se utiliza para generar el azúcar de la leche: la lactosa. Este mecanismo homeorrético impone que la función de los demás órganos y sistemas dependientes de glucosa se realice a través de componentes alternativos, como los cuerpos cetónicos (Cunningham, 2003). Drackley (1999) mencionó que a los 4 días el período postparto, los requerimientos de energía neta de lactancia y proteína metabolizable superan en un 26 y 25% respectivamente, lo consumido y aportado por la dieta, concluyendo que la producción de leche en la lactancia temprana consume aproximadamente el 97 y 83 % de los nutrientes anteriormente mencionados aportados en la dieta.

Tabla 1-1. Requerimientos de energía metabolizable (MJ EM) por litro de leche producido según su composición de grasa y proteína. Fuente: (MAFF, 1984)

Fat (%)	Protein (%)									
	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
3.0	4.5	4.5	4.6	4.7	4.8	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1
3.2	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.2	5.2
3.4	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4
3.6	4.9	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5
3.8	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6
4.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.8
4.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9
4.4	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	6.0	6.0
4.6	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2
4.8	5.6	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3
5.0	5.8	5.8	5.9	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4
5.2	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.5
5.4	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6	6.7
5.6	6.2	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6	6.7	6.7	6.8
5.8	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.7	6.8	6.9	6.9
6.0	6.4	6.5	6.6	6.6	6.7	6.8	6.9	6.9	7.0	7.1

Es común encontrar balance energético negativo en la lactancia temprana de vacas recién paridas (Galvis et al., 2005) y frecuentemente se acentúa este fenómeno entre la primera y segunda semana del período postparto (Butler & Smith, 1989), reportándose en vacas Holstein ubicadas en trópico de altura colombiano que este balance se encuentra entre los 12 a 35 días de dicho período (Galvis et al., 2003). Esta situación se debe a una asincronía entre el consumo de nutrientes en el período postparto (que llega a su punto más alto alrededor de la 8ª a 22ª semana postparto) que no satisface las demandas y requerimientos (que alcanzan su pico más alto hacia la sexta semana postparto) (Galvis et al., 2005) y el inicio de la producción lechera que paulatinamente va incrementando en cantidad y calidad hasta el pico de lactancia (sucediendo aproximadamente entre la 5ª y 7ª semana postparto) (Correa, 2001). Durante éste evento de bajos niveles de glucosa, se puede presentar la cetosis, una alteración metabólica en la que se acumulan cuerpos cetónicos (acetona, beta hidroxibutirato y aceto acetato) por la falta de energía (glucosa) para reiniciarse el ciclo de Krebs (Gallego, 2009).

De nuevo, la vaca activa mecanismos homeorréticos como la movilización de energía a partir de las reservas corporales representadas en tejido adiposo, con lo que se inicia la disminución de la condición corporal (Correa, 2001).

Con respecto a los carbohidratos no fibrosos, azúcares solubles y no solubles comprendidos en el contenido celular de los forrajes (almidón, pectinas, sacarosa, entre otros), importantes en la producción de leche y en la síntesis de la proteína de la leche, los valores óptimos van desde 38 a 40% en la materia seca (MS) (Braga-Reis et al., 2009).

1.2.2 Requerimientos de proteína

Cuando las vacas recién paridas inician la producción de lactancia, se debe destacar los requerimientos de proteína para su mantenimiento y producción de leche. La importancia de éste nutriente recae en su participación en las funciones vitales corporales, tales como la catálisis enzimática, el mantenimiento de la homeostasis, crecimiento de los tejidos corporales (muscular, conectivo y digestivo), generación y emisión de impulsos nerviosos, regulación del metabolismo y crecimiento y desarrollo celular, entre otros (Marcondes et al., 2010). Se menciona que son los aminoácidos, y no la proteína *per se*, los nutrientes requeridos por el rumiantes (NRC, 2001). La proteína metabolizable (PM) se ha referenciado como la proteína requerida, que se compone de la proteína verdadera que se digiere en el tracto digestivo posterior, proveniente entre un 50-80% de la proteína microbiana sintetizada en el rumen (Bach et al., 2005) y los aminoácidos que son absorbidos por el intestino (NRC, 2001). Cuando el rumiante consume forraje, una gran parte de los nutrientes contenidos en la dieta, especialmente los carbohidratos y la proteína, son utilizados por los microorganismos que habitan en el rumen, generando el proceso conocido como digestión fermentativa anaeróbica (Cunningham, 2003). En dicho evento, los microorganismos ruminales depositan enzimas necesarias para la lisis de las proteínas, originando como productos finales péptidos de cadenas cortas y amonio (NH₃) (Cunningham, 2003). Estos componentes de nuevo son utilizados por los microorganismos para sintetizar proteínas que pasarán al tracto digestivo posterior (proteína microbiana) o pasarán a la formación de ácidos grasos volátiles, principales combustibles energéticos para los rumiantes (Cunningham, 2003).

Es necesario resaltar entonces que lo ideal es proporcionar al rumiantes las cantidades adecuadas y suficientes de la proteína degradable en rumen (PDR) para mantener una producción óptima de proteína microbiana (Cunningham, 2003) y obtener productos como la leche de excelente calidad. Habiendo descrito este fenómeno, se menciona que los requerimientos de proteína metabolizable para el mantenimiento del rumiante son equivalentes a las pérdidas de nitrógeno endógeno en la orina, las heces y descamaciones de piel, secreciones, etc, con el fin de mantener las proteínas de los tejidos (NRC, 2001). El nitrógeno endógeno excretado vía urinaria corresponde a la urea, creatinina, bilirrubina, ácido úrico, alantoína y aminoácidos (CSIRO, 2007b). Se ha reportado que las pérdidas de nitrógeno endógeno en razas *Bos indicus* es menor en aproximadamente 20% a lo que ocurre en *Bos Taurus* (ARC, 1980). Con respecto a las pérdidas de nitrógeno metabólico en heces, se menciona que dichas fuentes provienen de

células epiteliales, secreciones mucosas, pigmentos biliares y tejidos residuales de proteína microbiana provenientes de rumen e intestino grueso (CSIRO, 2007b). En cuanto a las necesidades de PM requeridas para la lactancia, se menciona que estas demandas dependen de la cantidad de proteína secretada en la leche (NRC, 2001). Si no se conoce el contenido de proteína en la leche, los requerimientos de PM de lactancia se pueden calcular a partir del contenido de grasa en la misma. Es común encontrar que en la lactancia temprana, la vaca no solo deposita proteína en leche a partir de la proteína degradable en rumen, sino que también aporta dicho nutriente del catabolismo de tejidos, que aporta aminoácidos, que se absorben y llegan al flujo sanguíneo en la glándula mamaria para depositarse en este producto (CSIRO, 2007b), generando una disminución en la condición corporal. Se han reportado requerimientos de proteína cruda para vacas en producción de leche y en período seco.

Se indica que durante la lactancia temprana es necesario un porcentaje de 16-18% de proteína cruda por la vaca en la dieta; en la lactancia media se requieren niveles entre 14 y 16% de proteína cruda y finalmente en la lactancia tardía dichos valores deben oscilar entre un 12 y 14% de proteína cruda requerida (Jacobs & Hargreaves, 1999). En cuando al período seco, estas necesidades bajan al rango del 10 al 12% de la proteína cruda. Adicionalmente, se menciona que los aminoácidos esenciales, producidos en baja cantidad en los tejidos del rumiante, deben ser aportados en la dieta para asegurar su balance (CSIRO, 2007a). Estos aminoácidos y la glucosa son nutrientes limitantes para la síntesis y secreción de los componentes de la leche: lactosa, proteína de la leche: caseína y grasa de la misma (Braga-Reis et al., 2009).

1.2.3 Requerimientos de fibra

Para el correcto funcionamiento y manutención de las condiciones óptimas del rumen, se ha descrito que se deben incluir en la dieta ciertos niveles de este componente (CSIRO, 2007b), sin que interfieran con el consumo de materia seca (NRC, 2001). Se menciona que los valores mínimos requeridos en la dieta para el buen funcionamiento del rumen en cuanto a fibra en detergente neutro (FDN) son aproximadamente del 30%, de la fibra en detergente ácido (FDA) se acercan a el 19% y de la fibra cruda son del 17% (Jacobs & Hargreaves, 1999). Estas recomendaciones se realizan con el fin de evitar desordenes metabólicos como la acidosis ruminal, que ocurre cuando hay dietas con bajo contenido de fibra, pero altas cantidades de almidones. El consumo de FDN está en función del peso vivo (PV) y se debe aproximar al 1,2% del PV (Mertens, 1992), oscilando en un rango

de 1,1 hasta 2,5% del PV (Sousa, 2006). Los requerimientos mínimos de FDN y FDA oscilan entre 25-33% y 17-21% respectivamente (NRC, 2001). En vacas lecheras, de todo el contenido de FDN requerido por la misma, el 75% del FDN debe proceder de la dieta forrajera (Gonçalves et al., 2009).

1.2.4 Requerimientos de minerales

Las demandas de los minerales, sustancias inorgánicas, varían dependiendo de la absorción y metabolización de éstos, según la edad y el estado fisiológico del animal, su forma química y la presencia de otros minerales y nutrientes en el organismo (CSIRO, 2007b). La importancia de dichos componentes se debe a que intervienen en la formación de tejidos corporales y órganos, son electrolitos de los fluidos que regulan el metabolismo del rumiante, intervienen en la calidad de la leche, potenciando la producción de dicho producto, entre otros (Gallego, 2009; McDowell, 2002). Se clasifican en macrominerales por expresarse en términos porcentuales (como el Sodio, Azufre, Calcio, Fósforo, etc) y microminerales o elementos trazos por describirse en unidades de partes por millón (ppm) o miligramos (como zinc, hierro, selenio, cobre, yodo, etc) (Gallego, 2009). Existen 25 minerales que se consideran como esenciales (Andriquetto et al., 1990), pues su adición en la dieta cuando el animal presenta síntomas de deficiencias, corrige y mejora las alteraciones (Loosli & Guedes, 1976). Los requerimientos de mantenimiento de los minerales, según las excreciones urinarias y fecales de pérdidas endógenas no son constantes para una vaca recién parida (CSIRO, 2007b). Por lo tanto, existen reportes de niveles deseados que deben ser administrados en la dieta para evitar sus deficiencias, que pueden causar una variedad de signos clínicos. (Ver Tabla 2)

Tabla 1-2. Guía de concentración de minerales en la dieta de rumiantes. Tomado de CSIRO, 2007b.

Mineral	g/Kg MS	Mineral	g/Kg MS
Calcio	2.0-11.0	Cobalto	0.07-0.15
Fósforo	1.0-3.8	Cobre	4.0-14.0
Cloro	0.7-2.4	Yodo	0.5
Magnesio	1.3-2.2	Hierro	40.0
Potasio	5.0	Manganeso	20.0-25.0
Sodio	0.8-1.2	Selenio	0.04
Azufre	1.5	Zinc	9.0-20.0

Entre los macrominerales, se destaca el calcio (Ca) y el fósforo (P), que entre ambos, componen aproximadamente el 70% de los minerales del rumiante (Gallego, 2009). El calcio es altamente requerido en la lactancia temprana, para ser depositado en leche y para mantener los niveles normales en la vaca (Gallego, 2009). En cuanto al fósforo, dicho componente interviene directamente sobre el desempeño reproductivo de la vaca en el período postparto, y su deficiencia se puede detectar a través de alteraciones en los servicios por concepción, retenciones de placenta, abortos y parámetros zootécnicos como intervalo entre partos y tasa de pariciones (Gallego, 2009). Los requerimientos de éstos minerales se aproximan a sus cantidades secretadas en leche (CSIRO, 2007b). Los requerimientos de lactancia de estos dos minerales se aproximan a 1,3 g/kg leche de Ca y 1 g/Kg leche de P (Andrighetto et al., 1990; CSIRO, 2007b), según los coeficientes de absorción de cada mineral. Cada mineral presenta un coeficiente de absorción único en animales adultos, los cuales se reportan para Ca, P y K (Fox et al., 2000) en la Tabla 3.

Tabla 1-3. Coeficientes de absorción de Ca, P y K. Adaptado de Fox et al., 2000.

Coheficientes de absorción	
Mineral	CA
Ca	0,325
P	0,575
K	0,8

CA: Coeficientes de absorción.

Factores como el peso vivo, días de preñez, ganancia de peso, consumo de materia seca y producción total de proteína en leche, intervienen en los requerimientos de calcio (Fox et al., 2000). En tanto, los mismos factores excepto el consumo de materia seca, influyen en los requerimientos de P y K. Ambos macrominerales intervienen en la síntesis de la miscela de caseína en la leche, por tanto, deficiencias de ambos minerales reducen la densidad de este componente (Swaisgood, 1993).

En la Tabla 4 se recomiendan los valores de Ca y P para vaca adulta y en lactancia, con peso de 500 Kg y bajo pastoreo de forrajes de trópico alto con digestibilidad de 0,74.

Tabla 1-4. Recomendaciones de los niveles de Ca y P en vacas. Adaptado de CSIRO, 2007b.

Estado Fisiológico	Peso (Kg)	GDP (g/d)	CMS (Kg MS)	Ca (g/Kg MS)	P (g/Kg MS)
Vaca Adulta	500	0	4,4	2,04	0,97
		Leche (Kg)			
Vaca Lactante	500	18	9	5,32	3,84
	500	22	13,5	4,44	3,31
	500	32	16,8	4,89	3,71

Bajos niveles de Ca en el rumiante alteran su productividad, fertilidad y predispone a presentación de patologías reproductivas como retención de placenta y fiebre de leche en el período postparto (Ishler et al., 1997). Por su parte, deficiencias de P son una causa importante de alteraciones del desempeño reproductivo y retraso en la ganancia de peso en vacas adultas (Ishler et al., 1997). Estas deficiencias de P pueden ser frecuentemente encontradas en animales que pastorean (McDonald et al., 1993)

Con respecto al potasio (K), se sugiere requerimientos de dicho mineral entre 10-12 g/Kg MS en vacas lecheras (NRC, 2001). Los contenidos de K son mayores en forrajes que en granos (CSIRO, 2007b). Este macromineral, considerado como el tercer mineral mayormente encontrado en el rumiante, interviene como cofactor enzimático en el metabolismo del glicógeno, las proteínas y la glucosa (McDowell, 2002). El déficit de este mineral puede limitar el consumo de materia seca y alterar la producción y calidad de la leche, entre otros, (Ishler et al., 1997), aunque se reporta que no es muy común encontrar esta situación (McDonald et al., 1993). Por el contrario, altas concentraciones de potasio, pueden generar alteraciones metabólicas como fiebre de leche y edema de la ubre (Ishler et al., 1997).

Por su parte el selenio, como micromineral, interviene directamente sobre el comportamiento reproductivo. Altas concentraciones de selenio son encontradas en la placenta, los ovarios y la hipófisis (Gallego, 2009). Sus deficiencias generan predisposiciones del útero a infecciones, mastitis, entre otros (Ishler et al., 1997).

1.2.5 Requerimientos de vitaminas

Con respecto a estos compuestos orgánicos, se reporta que un exceso de vitaminas solubles en agua no limita el desempeño productivo o reproductivo de la vaca en lactancia temprana (Jacobs & Hargreaves, 1999), permitiéndose su excreción a través de la orina. Sin embargo, exceso de las vitaminas solubles en lípidos, traen graves consecuencias como intoxicación o muerte (Jacobs & Hargreaves, 1999). Las consideraciones de las vitaminas A, D y E (liposolubles o

insolubles en agua) son las más importantes en el rumiantes, debido a el evento de simbiosis del animal con la microflora ruminal (Rezende-Martins et al., 2009). Las vitaminas se caracterizan porque intervienen y regulan en el catabolismo y metabolismo (Murray et al., 2003). Además, participan en procesos de conversión de energía, carbohidratos y lípidos (NRC, 2001).

Los requerimientos de vitamina A oscilan alrededor de las 100.000 UI/día/vaca. Su importancia radica en que participa en la síntesis de leche y en aspectos reproductivos e inmunológicos de la vaca (Rezende-Martins et al., 2009). Se reporta que la eficiencia de absorción de la vitamina A es aproximadamente 80-90% (NRC, 2001). Deficiencias de dicha vitamina pueden generar mastitis, alterando la producción y calidad de la leche, el comportamiento reproductivo, presentándose eventos como retención de placenta, abortos, etc y la inmunidad del animal por medio de disminución de la actividad de macrófagos y neutrófilos (Murray et al., 2003; NRC, 2001). En cuanto a la vitamina D (especialmente D2 y D3), formada en la piel aprovechando la luz solar, interviene en el metabolismo del calcio y fósforo, estimulando su absorción en intestino delgado y resorción a partir de huesos. Se considera clave a la hora de tratar la fiebre de leche o hipocalcemia postparto (Jacobs & Hargreaves, 1999). Sus requerimientos se aproximan a las 50.000 UI/día/vaca, dependiendo de la relación Ca:P en la dieta, la edad, sexo, el estado sanitario, etc (Rezende-Martins et al., 2009). Sus deficiencias se expresan cuando se presenta baja ganancia de peso, nacimiento de crías muertas, de bajo peso o deformes, parálisis y dificultad para caminar, entre otros (Ewan, 1996; NRC, 2001). Con respecto a la vitamina E, de variable disponibilidad en los forrajes (80-200 UI/Kg) (Rezende-Martins et al., 2009), es importante para el fortalecimiento del sistema inmune y la actividad reproductiva (NRC, 2001), se reporta que sus deficiencias pueden conllevar a alteraciones reproductivas, como metritis, retención de placenta, bajas tasas de concepción y pérdidas embrionarias (Gallego, 2009; NRC, 2001). En la Tabla 5 se reportan los valores sugeridos por NRC sobre los requerimientos de vitaminas en vacas lecheras.

Tabla 1-5. Requerimiento nutricionales de vitaminas en vacas lecheras. Adaptado de NRC, 2001 UI: Unidades internacionales. PV: Peso vivo.

Requerimientos nutricionales de vitaminas en Bovinos de leche		
Compuesto	Vacas en lactancia (UI/Kg PV)	Animales adultos (UI/Kg PV)
Vitamina A	110	110
Vitamina D	30	30
Vitamina E	2,6	1

Se reporta que cuando existe deficiencia de vitaminas, paralelamente existe un déficit protéico-energético (Marks, 1975).

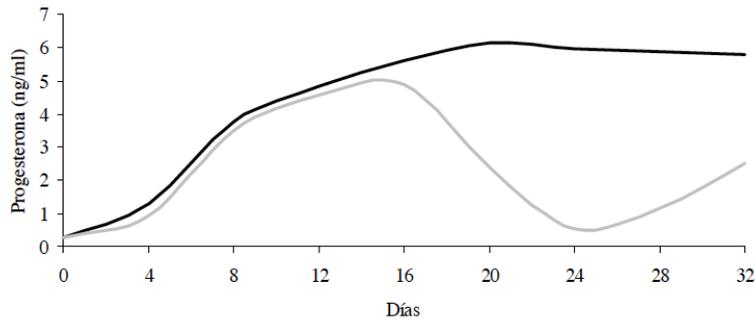
1.3 Fisiología reproductiva del período preparto, parto y postparto: eventos y hormonas involucradas

Existen una serie de eventos y acontecimiento que ocurren en la vaca desde el momento preparto, durante el parto y el período postparto que se deben describir con el fin de comprender su importancia. Dichos fenómenos se describen a continuación para una vaca lechera.

1.3.1 Período preparto de la vaca

Durante el período preparto, una estructura denominada cuerpo lúteo en el ovario, es la encargada de mantener la gestación, por medio de la producción de la hormona esteroidea Progesterona (P_4) (Senger, 2003). Dicha hormona actúa en el hipotálamo, útero y tejido mamario. En el útero, actúa sobre las glándulas endometriales, estimulándolas para que secreten sus productos y contribuyan a la formación de un ambiente apto para la futura implantación del conceptus (Senger, 2003). Mientras existan mayores concentraciones de P_4 en plasma, las condiciones uterinas son mejores para permitir un crecimiento y desarrollo del conceptus (Figueira et al., 2011). Varios autores han evaluado los niveles de P_4 en vacas que quedan gestantes y aquellas que repiten celos. En la Gráfica 1 se muestran los niveles (ng/ml) de Progesterona en vacas Holstein-Friesian estabuladas cuyas edades oscilaban entre los 4 y 8 años.

Figura 1-1. Niveles de progesterona en vacas gestantes (línea negra) y repetidoras de celo (línea gris) en el Sur de España. Fuente: Pérez et al., 2002.



Como se observa en la gráfica, ambas vacas iniciaron su ciclo con la P_4 en su nivel basal que oscila entre 0 y 1 ng/ml en el momento del celo. Presentaron un aumento progresivo de la hormona hasta aproximadamente el día 15 de la fase del ciclo estral, en donde aquella que queda gestante continua aumentando sus niveles de progesterona hasta el nivel máximo en el día 20 del ciclo, mientras que aquella en donde se presenta una disminución de los niveles de progesterona por una regresión del cuerpo lúteo, descienden los niveles de esta hormona casi a concentraciones basales (Pérez et al., 2002).

A nivel hipotalámico, genera una retroalimentación negativa sobre la secreción basal de GnRH (Hormona liberadora de gonadotropinas), limitando su acción sobre las gonadotropinas LH (Hormona luteinizante) y FSH (Hormona folículo estimulante). Con este mecanismo se limita y reduce la frecuencia de pulsos de las gonadotropinas para evitar el crecimiento de nuevos folículos y ondas foliculares en los ovarios (Senger, 2003), previniendo la formación de folículos preovulatorios, ovulación de los mismos, secreción de estrógenos (E_2 : hormona producida por los folículos en crecimiento) y comportamiento de celo y reduciendo el tono muscular o contracciones del útero. En las últimas semanas de gestación de la vaca, la placenta por su parte, secreta estrógenos, una hormona esteroidea que cuando se encuentra en sus niveles mas altos, indica el período preparturiente de la vaca (Senger, 2003). Además, la placenta, sintetiza una hormona polipeptídica conocida como lactógeno placentario o somatotropina, la cual estimula el crecimiento final del feto y promueve el desarrollo de la glándula mamaria.

Cuando llega el momento del parto, es el feto el que desencadena una serie de procesos endocrinos y bioquímicos que darán origen a su nacimiento (Senger, 2003). Es necesario resaltar que el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal del feto, es el

que dispara la activación de éstos procesos. Una vez el feto alcanza el tamaño y el peso final, se cree que éste manifiesta su estrés en el útero por limitaciones para su desarrollo, lo que causa que la pituitaria anterior del feto libere una hormona peptídica llamada la corticotropina adrenal. Dicha hormona estimula que la corteza adrenal sintetice cortisol. Este evento genera la alteración de los corticoides de la madre, produciendo igualmente que se finalice el efecto de la progesterona sobre la tonicidad del miometrio en el útero, para iniciarse así las contracciones. Estos movimientos uterinos acontecen debido a que se inicia la síntesis de enzimas que transformen el P_4 en E_2 , lo que a su vez va disminuyendo los niveles de la misma en la vaca e incrementando la concentración de estrógeno. Igualmente se incrementan por acción de E_2 las secreciones reproductivas, especialmente en el cérvix, conducto por el cual debe pasar el feto, con el fin de estar preparado para dicho acontecimiento (Senger, 2003). Otro de los efectos que tiene genera la liberación cortisol fetal, es la síntesis de Prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), hormona esteroidea, que inicia la regresión del cuerpo lúteo, coadyudando en la disminución de los niveles de P_4 en la vaca (Senger, 2003).

1.3.2 Parto de la vaca

Una vez el feto, después de una gestación aproximada de 283 ± 5 (Campos & Jaramillo, 2008) alcanza sus mayores niveles de estrés, se posiciona para salir del vientre de la madre. Estando los niveles de E_2 y $PGF_{2\alpha}$ incrementando, se inician las contracciones uterinas, cuyo fin último es dilatar el cérvix, canal que se mantuvo fuertemente cerrado durante la gestación (Senger, 2003) para sacar el feto del útero. La presión que recibe el cérvix, es captada por neuronas sensitivas de presión localizadas en dicho canal, que hacen sinapsis con la médula espinal y finalmente estimulan las neuronas productoras de oxitocina en el hipotálamo para que liberen este neuropéptido a la circulación sanguínea. Esto provoca contracciones del musculo liso uterino, el miometrio, sumándose a la acción de E_2 y $PGF_{2\alpha}$ en el útero (Senger, 2003), completando la primera fase del parto. El feto continúa haciendo presión y fuerza para pasar por el canal cervical. Para ejecutar este proceso, debe romper las membranas fetales, liberándose líquido amniótico donde permaneció el ternero durante la gestación y líquido alantoideo al exterior de la vaca, lubricando igualmente el canal cervical. La cría finalmente logra pasar el canal del parto y posteriormente se da la expulsión de los fluidos uterinos y la placenta si es que quedó en el útero (Senger, 2003). Después del parto, acontece una disminución en los niveles de estradiol, factor que permite la actividad del eje hipotálamo-hipófisis, por medio de la liberación de GnRH (Robinson, 1996).

1.3.3 Período postparto de la vaca

El período inmediatamente después del parto es llamado puerperio, y finaliza cuando se restablece la función reproductiva y la vaca es capaz de concebir de nuevo (Senger, 2003). Se menciona que el tiempo requerido para tener una involución uterina completa en vacas de leche oscila entre 45 y 50 días, mientras que el intervalo necesario para reiniciar la actividad ovárica es de aproximadamente 18 y 25 días (Senger, 2003). La duración de éste período depende del la presentación de eventos como retención de placenta, fluidos, baja condición corporal, alteraciones metabólicas, entre otros (Senger, 2003).

Después del parto, entre los primeros siete a diez días, la vaca continúa presentando contracciones en el útero para eliminar loquios o fluidos alojados en el útero, realizar compresión de los vasos sanguíneos con el fin de evitar hemorragias en los lugares donde la placenta estuvo conectada con el útero (Senger, 2003) e iniciar la reducción de su tamaño y volumen. Para retornar a la actividad reproductiva, es indispensable que se realice este proceso de involución uterina, en el cual se requiere la regeneración del epitelio uterino, que puede demorarse aproximadamente entre 25 y 35 días en el período postparto (Landaeta et al., 2004). Por su parte, la hormona LH y la actividad de cohortes foliculares inician sus actividades en el período postparto para recobrar el funcionamiento reproductivo de la vaca. Dicho funcionamiento acontece con la presencia del folículo dominante y la secreción pulsátil de LH , que según Nett et al. (1988), ocurren cada 3 a 6 horas.

En la vaca lechera, donde frecuentemente el ternero es retirado pocas horas o días después del parto y se inicia su ordeño usualmente dos veces al día, los niveles de oxitocina disminuyen, lo que conlleva a una reducción de las contracciones uterinas y retraso en su involución de útero. Este acontecimiento puede afectar el inicio de la actividad reproductiva en el período postparto de la misma, generando el anestro postparto, caracterizado por un enlentecimiento del reinicio de la actividad ovárica y uterina (Henao et al., 2000). Basurto (2005) reportó que este anestro conlleva a un período del parto al primer servicio mayor de 120 días y unos días abiertos superiores a las 170 días en el trópico. Factores como el amamantamiento, la condición corporal, relación vaca-ternero y el status nutricional intervienen en la duración del anestro postparto (Hashizume et al., 2002; Montiel y Ahuja, 2005).

En el período postparto inicia la reactivación de las funciones ováricas, en la cual, una cohorte de folículos comienza su crecimiento y desarrollo hasta que llegue uno a el evento final de ovulación (Henao et al., 2000). En el período

postparto, luego del parto, los niveles en plasma de LH y FSH se encuentran disminuidos (Campos & Jaramillo, 2008). Una vez la vaca alcance una mayor condición corporal y se encuentre en un balance energético positivo, entre otros factores, se retorna a la actividad ovárica, presentándose una secreción suficiente de LH. Se reporta que las hembras bovinas frecuentemente presentan de 2 a 3 ondas foliculares en cada ciclo estral (Martínez et al., 2000; Webb et al., 2004). Estas ondas constan de una cohorte de folículos pequeños que inician su crecimiento y maduración gracias a la presencia y altas concentraciones de la FSH (Campbell., 2000) que alcanza su pico luego de que ovule el folículo dominante (Liu et al., 2007). En el transcurso de este crecimiento folicular, dichas estructuras sintetizan el estradiol (Mihm et al., 2000). La importancia de la liberación de estradiol recae en que estimula la colonización de vasos sanguíneos en el folículo para que dicha estructura reciba mayor flujo de sangre e incremente la llegada de compuestos y hormonas (Beg., 2002). Además, a nivel hipofisiario, limita la secreción de FSH, generando una retroalimentación negativa, para evitar el crecimiento de los pequeños folículos (Jiménez & Hernández, 2000). El folículo líder en desarrollo y tamaño, es el que se selecciona para su posterior ovulación, mientras que los demás sufren un fenómeno denominado atresia, en la cual detienen su crecimiento y por ende la síntesis de estradiol (Avila et al., 2005). El folículo dominante restringe los niveles de FSH para los folículos mas pequeños, limitando de ésta manera su crecimiento (Webb et al., 1999) y a medida que crece se torna dependiente de la LH debido a la expresión de receptores de dicha gonadotropina (Mazerbourg et al., 2001). Este hecho genera que el folículo requiera cada vez mas mayores niveles de LH y no de FSH. La LH se encarga de promover el mantenimiento del folículo dominante, a la vez que estimula la producción de estradiol requerida para la presentación del estro (Fortune, 1994). Cuando la vaca tiene una relación estrecha con su cría, existe amamantamiento frecuente (Ruiz-Cortés& Olivera-Angel, 1999) y la condición corporal está disminuida, se limita la liberación pulsátil de LH por parte de la hipófisis, reduciendo la fertilidad de la misma (Griffith & Williams, 1996). En los folículos de mayor desarrollo y preovulatorios se han encontrado altas concentraciones de Factor de crecimiento insulinoide tipo 1 (IGF-1) (Meduri et al., 2008), que intervienen en el desarrollo, la diferenciación y la actividad folicular (Ireland et al., 2000). Se ha mencionado que según ensayos *in vitro* la actividad de IGF-1 es la de promover la producción de hormonas (esteroidogénesis) y mitogénesis en las células que componen el folículo (Campbell et al., 2000).

El período comprendido entre el parto y el primer celo en la vaca, se denomina anestro postparto, el cual puede estar afectado como se ha mencionado por

amamantamiento, estado sanitario, estado nutricional, raza, condiciones climatológicas, producción de leche, entre otros (Campos & Jaramillo, 2008). En dicho intervalo, no se presentan comportamientos de celo (Montiel & Ahuja, 2005), pero si se inicia la actividad ovárica, en la cual una cohorte de folículos inicia dinámicas de crecimiento, pero no culminan en ovulación. La ausencia de ovulación en el anestro postparto acontece debido a una baja frecuencia de secreción pulsátil de la hormona LH (Nett et al., 1988). Por su parte Canfield & Butler (1991) indicaron que la inhibición de la secreción pulsátil de LH no ocurría en la vaca hasta tanto no experimentar el nadir o balance energético más bajo. Dichos autores reportaron la presencia de la ovulación 14 días después del nadir.

1.4 Parámetros reproductivos de ganado bovino en Colombia

En las recientes décadas, se ha observado el esfuerzo de varios autores por reportar el comportamiento reproductivo del ganado bovino en Colombia. Debido a la variedad de condiciones medioambientales y composición racial existente en el territorio nacional, ha sido un reto unificar dicho desempeño. Fedegán, por su parte, recientemente reportó dichos parámetros para ganado lechero Holstein, ganado doble propósito y ganado de carne. A continuación se resumen resultados de investigaciones y reportes de comportamiento reproductivo para ganado bovino Colombiano (Ver Tabla 1-6)

Tabla 1-6. Comportamiento reproductivo en sistemas de producción ganadero en Colombia.

Sistema de producción ganadero	Comportamiento Reproductivo	Autor	Fecha Publicación Fuente
Sistemas ganaderos de carne: <i>Bos indicus</i> : Brahman, Nelore, Guzerá y Cebú comercial en bs-T Colombiano.	Edad al primer parto: (EPP): 38,4 meses ($n=524$) Período entre partos (IEP): 444 días ($n=3280$)	García et al., 2003)	Rev ColCienc Pec16. 2003;16(2):117–26.
Sistemas ganaderos de cría con Cebú en Costa Norte de	EPP:41,1±9,7 meses	Benítez & Medina, 2001.	Tesis Universidad de Sucre; 2001.

24 Evaluación del balance nutricional y comportamiento reproductivo de ganado lechero bajo un sistema silvopastoril intensivo en bosque seco tropical Colombiano

Colombia.	IEP: 473+113 días Tasa de natalidad: 65,54+3,64%		p. 1-30.
Sistemas doble propósito en bs-T Colombiano.	EPP: 44 meses, IEP de 501,8 días. Días abiertos (DA): 220,8 Porcentaje de natalidad: 58%	Álvarez & Moreno, 2004	Tesis Universidad de Sucre; 2004. P. 1-40
Sistemas de explotación ganaderos en Colombia.	IEP: 500-600 días.	Castro, 2007.	Tesis Universidad de Sucre; 2007. P. 1-71
Ganado Brahman en Magdalena Medio (MM) y Piedemonte Llanero (PL).	IEP: MM: 459,3 días. PL: 488,4 días.	Gómez, 1998	El Cebú 304. p. 42-52
Ganado Cebú en pastoreo en bs-T Colombiano	IEP: 510 días entre 1º y 2º Parto.	Benítez & Medina, 2001	Tesis Universidad de Sucre; 2001. p. 1-30.
Sistemas doble propósito en Caribe Colombiano.	IEP: 420 días.	Prieto, 2001.	Tesis Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 2001.
Ganado Holstein en trópico alto	DA: 127,15 ± 76,96 S/C: 1,58 ± 1,03 IEP: 410,3 ± 77,93 TC: 79,88 ± 28,6	Zambrano & Echeverri, 2014.	R.Bras,Zootec., 43(3): 132-139, 2014.
Ganado B.indicus en amamantamiento	DA: 217-278 días IEP: 17-19 meses	Ruiz-Cortés & Olivera-Angel	Anim.Reprod-Sci 1999; 54:211-220
Ganado de Carne, Doble Propósito en Colombia	IEP: 550 días Tasa de Natalidad:50-60%	Corpoica	Fedegan, 2006
Ganado Holstein en Colombia	IEP: 17,1 meses DA: 185 días S/C: 2,10 IPPS: 102,2 días	Corpoica	Fedegan, 2006
Ganadería de Carne	IEP: 695 días	Fedegán	Fedegan, 2006b

Colombiana	Tasa de Natalidad: 53%		
------------	---------------------------	--	--

Estos valores pueden ser afectados por factores como el grupo racial, el año del parto, la edad de la vaca, entre otros (García et al., 2003).

Algunos autores han mencionado que el IEP no supera los 420 días, alcanzando como máximo unos 85 días abiertos (Asodoble, 2001; Salgado et al., 2003). Al respecto Navarrete (1995) reportó un IEP promedio de 450 días y una EPP de 42 meses, frente a Gómez (1998), que reportó en ganado Cebú una EPP oscilando entre 37,+3,4 y 39,15+4,2 meses respectivamente. Por su parte, un estudio realizado en dos explotaciones de ganado doble propósito que utilizan Cebú y sus cruces con Pardo Suizo, Holstein y Gyr, ubicadas en bosque seco tropical en la costa caribe de Colombia, pastoreando en praderas compuestas por *Eriochloa polystachia*, *Brachiaria plantaginea*, *Echinochloa polystachia*, *Leerxia hexandra*, se reportó DA de 160+75,20 días; IEP de 433+75,35 días, EPP de 30+6 meses y una tasa de preñez de 52,60% (Castro, 2007).

Se ha mencionado que debido a las condiciones climatológicas y de oferta forrajera, la productividad del ganado *Bos Taurus* en las zonas tropicales se puede tornar ineficiente, considerándose por consiguiente la opción de utilizar ganado *Bos indicus* y sus cruces en sistemas ganaderos mas productivos (Henao et al., 2010), pues se adaptan a diversas situaciones de rusticidad (Baruselli et al., 2004).

Se ha reportado que el desempeño reproductivo del ganado Cebú es menor que el ganado *Bos taurus* (Bo et al., 2003), aunque no se ha reportado si es por efecto de la raza *per se*, del medio ambiente o por condiciones de adaptación propias de cada animal (Grajales et al., 2006). En ganado *Bos Taurus* ha sido reportado que presenta mayores concentraciones de LH en plasma que vacas Brahman (D'Occhio et al., 1990)

En cuanto al ganado criollo, Grajales (2001) indica que aunque pueden presentar una capacidad productiva limitada, su comportamiento reproductivo puede superar a las razas bovinas introducidas debido a su adaptación al las condiciones del país, que menciona, todavía no han sido estudiadas a profundidad. Algunos parámetros reportados que respaldan la información anteriormente mencionada, han sido publicados por Báez (2007), que indicó un intervalo entre partos de 14,5 meses, una natalidad de 84% y una reactivación ovárica a los 51 días posparto en ganado Costeño con Cuernos. Por su parte,

Grajales (2001), menciona que el comportamiento reproductivo más eficiente de el ganado criollo colombiano puede estar relacionado con los “niveles basales de progesterona durante la fase folicular y sus niveles de cambio durante la fase luteal”.

Castillo (1997), menciona que el ganado *Bos indicus* presenta una anestro postparto más prolongado que el *Bos Taurus*. Otros autores reportan en hembras bovinas Gyr y cruzadas intervalos al primer estro de tan solo 20 a 30 días (Henao et al., 2000). Los anteriores reportes indican una baja eficiencia reproductiva de las explotaciones ganaderas en Colombia, afectado por el amamantamiento de la cría, la alimentación, la estación del año que afecta directamente la oferta de biomasa forrajera disponible para consumo del animal, los problemas reproductivos, entre otros (Short et al., 1990).

1.5 Efecto de la alimentación de ganado bovino lechero sobre su desempeño reproductivo

Es bien sabido que la nutrición tiene importantes efectos sobre el desempeño reproductivo de la vaca recién parida (Adamiak et al., 2005; Bindari et al, 2013; Bisinotto et al., 2012; Butler & Smith, 1989; Santos, 2001). De otro lado, el mejoramiento genético que se ha venido realizando en el ganado lechero y doble propósito en las últimas décadas, se ha efectuado con varios fines, entre otros, corregir y fortalecer características fenotípicas que mejoren su adaptación y desempeño en las zonas de vida donde se encuentra localizado. Pero además, éste mejoramiento ha buscado especialmente incrementar su productividad en términos de volumen y calidad de leche (Butler & Smith, 1989; Butler, 2000). Se ha reportado que esta manipulación genética en el ganado lechero ha generado que los requerimientos nutricionales al momento del parto incrementen de manera inmediata por la alta producción de leche en la lactancia temprana, que demanda una alimentación balanceada que llene todos sus requerimientos (Butler, 2000; McNamara et al., 2003). Sumado a esta alta exigencia de nutrientes, acontece una disminución del consumo de materia seca aproximadamente 3 semanas antes del parto (de aproximadamente el 30% (Dann et al., 1999)) y que a medida que se acerca este evento reproductivo disminuye cada vez más, por alteraciones del balance hormonal (McNamara et al., 2003).

Esta variación en el consumo de materia seca y el incremento en la producción de leche en la lactancia temprana genera altas demandas metabólicas de nutrientes, que si no se satisfacen en su debido momento pueden desencadenar un balance energético negativo (BEN) (Henaó et al., 2010; Galvis et al., 2005) en el que es necesaria la movilización de reservas corporales a partir de tejidos adiposos, con el fin de suplir los nutrientes necesarios para mantener la producción de leche (Gonçalves et al., 2009; Henaó et al., 2010). Se ha reportado que durante la lactancia temprana, el 80% de las vacas presenta BEN, acompañado de alteraciones reproductivas y de producción de leche y pérdidas de peso (Gwazdauskas et al., 2000).

Vacas criollas ubicadas en el trópico (*Bos indicus* x *Bos taurus*), presentan menores requerimientos y partición de nutrientes frente a las vacas de alta producción lechera (Aguilar-Pérez et al., 2014). Butler & Smith. (1989) sugirieron que el mejoramiento genético del hato lechero no es la única causa que altera el comportamiento reproductivo, pues indicaron que la tasa de concepción en novillas no había variado en los últimos 25 años, pero los parámetros reproductivos de vacas en diferentes niveles de producción sí había variado.

1.5.1 Consumo de materia seca y sus efectos sobre el desempeño reproductivo en vacas en lactancia temprana

Durante la asincronía, en donde la vaca lactante presenta su pico de producción de leche de las 4 a las 8 semanas postparto y el pico de Consumo de Materia Seca (CMS) se presenta alrededor de la 10 a 14 semana postparto (NRC, 1989; Santos, 2008), se exige atender al máximo los requerimientos de ésta, a través de una alimentación correcta. Varios autores mencionan que la mayor limitante en vacas lecheras bajo sistemas de pastoreo es el bajo CMS de forrajes, que conllevan a una reducción en el consumo de nutrientes, por lo que la vaca no puede utilizar su genética para producir leche al máximo (Kolver & Muller, 1998; Ulyatt & Waghorn, 1993). Este fenómeno restringe los niveles de energía y proteína ingeridos por la vaca para su uso en la involución uterina y el retorno a la actividad ovárica, y como consecuencia puede afectar el intervalo parto-primera ovulación y por ende disminuir las tasas de concepción (Butler & Smith, 1989; Galvis et al., 2005) y fertilidad de las mismas (Butler, 2000), pues limita el número de calores antes del servicio efectivo (Butler & Smith, 1989). Igualmente se menciona, que esta limitación en satisfacer los requerimientos nutricionales de la vaca recién parida, conlleva a la disminución de peso y alteraciones en la

condición corporal de la misma, indicativo característico de un estado de BEN (Henaó et al., 2010).

El consumo voluntario se ha definido como la cantidad total de alimento ingerido espontáneamente por un animal o grupo de animales cuando hay libre acceso a la comida. Es determinante conocer que el consumo voluntario de materia seca (CMS) requerida por cada vaca recién parida sea el óptimo, ya que de lo contrario, una alteración en el CMS puede limitar el desempeño reproductivo del ganado lechero.

En las ganaderías lecheras tropicales, la estimación de la ingestión de materia seca se torna difícil y en muchos casos imprecisa, por cuanto hay limitaciones a la hora de determinar la cantidad y la composición del pasto consumido (Gonçalves et al., 2009). Algunos factores como la selectividad del forraje por parte del animal, la especie de forrajera herbácea consumida y el estadio vegetativo de ésta, pueden tener impacto en el CMS (Gonçalves et al., 2009).

En zonas tropicales, por efectos de la alta radiación solar, altas temperaturas, entre otras condiciones medioambientales, muy frecuentemente las pasturas presentan bajo valor nutritivo y por consiguiente baja digestibilidad (pocas veces superior al 66% (Barahona & Sánchez, 2005; Gonçalves et al., 2009)). Cuando este tipo de pasturas son consumidas por el ganado, se produce una distensión en el rumen que enlentece la tasa de pasaje del contenido a través de los estómagos del rumiante, lo que limita el consumo de materia seca, ocurriendo en la mayoría de los casos que la demanda total de nutrientes no quede completamente atendida (Gonçalves et al., 2009; NRC, 2001). Por tanto, el nivel de fibra del alimento, especialmente la Fibra en detergente neutro (FDN), que es la fracción que mas lentamente se digiere (en condiciones tropicales alcanza niveles mayores del 55 a 60%) está relacionado con el espacio ocupado por el alimento en el rumen y por consiguiente con el nivel de consumo de materia seca (Gonçalves et al., 2009; NRC, 2001; Van Soest, 1994). Algunos reportes indican un consumo de FDN del 1,3% del peso vivo del animal (Vazquez & Smith, 2000) como limitante del CMS.

Durante la lactancia temprana, un FDN mayor de 25% hasta un 35% en la dieta consumida, limita el CMS por el efecto de llenado en el rumen (Dado & Allen, 1995). Este factor depende en gran medida del número de días que lleve la pastura en crecimiento, por lo que se sugiere verificar que el forraje ofrecido para ser consumido por las vacas recién paridas no exceda en su contenido de FDN los valores anteriormente reportados.

Factores como la disponibilidad de pasturas, la cantidad de suplementación total, la producción de leche, el peso vivo y el porcentaje de leguminosas presentes en la dieta pueden determinar el CMS de ganado lechero (Vazquez & Smith, 2000). Cuando hay aumento del peso vivo del animal, la ingestión de materia seca se eleva, por lo que el CMS se puede expresar como tasa del peso animal (Van Soest, 1994).

Se ha reportado que cuando los rumiantes ingieren alimentos voluminosos de bajo valor nutricional, hecho comúnmente encontrado cuando el ganado consume pasturas nativas, el consumo se regula por el límite de la capacidad física de almacenamiento del alimento en el rumen, mientras que cuando el animal ingiere dietas de mejor calidad nutricional, la ingesta se regula cuando la demanda fisiológica de nutrientes del animal es alcanzada (Gonçalves et al., 2009).

Existen reportes de consumo de vacas mestizas $\frac{1}{2}$ Holstein x $\frac{1}{2}$ Gyr en lactancia en pastoreo de Guinea-coastcross de 4,7 Kg MS/vaca/día (1% del peso vivo) y 2,6Kg MS/vaca/día de concentrado alcanzando una producción de leche promedio de 10,6Kg/vaca/día (Berchielli et al., 2001). El bajo consumo de la forrajera puede ser atribuido a la sustitución de forraje por concentrado/suplemento. Esto es, los animales dejan de consumir forraje dado que están recibiendo sus nutrientes en el concentrado/suplemento.

Algunos estudios destacan el consumo de vacas Holstein x Cebú en lactancia bajo pastoreo de Guinea Tanzania con suplementación de 3Kg/vaca/día de concentrado de 2,15% del peso vivo (Lima et al., 2001). Resultados similares han sido reportados por Soares et al (2001), en donde estudiando vacas mestizas en lactancias encontró un CMS de 2.3% del peso vivo recibiendo suplementación de 3kg/vaca/día de concentrado.

1.5.2 Niveles de energía en la dieta y sus efectos sobre el desempeño reproductivo en vacas en lactancia

En ganado lechero, se ha descrito que son los niveles de proteína y energía, los principales nutrientes que se deben controlar para el correcto desempeño reproductivo del mismo.

Con respecto a la energía, se ha descrito que es el nutriente mas requerido por la vaca adulta (Santos, 2001, Santos, 2008). Se ha considerado que el balance

energético es el factor nutricional que mas afecta el comportamiento reproductivo en los animales, mas específicamente la reactivación de la función ovárica (Bindari et al., 2013; Galvis et al., 2005; Montaña & Ruiz-Cortés, 2005; Santos, 2001).

Según NRC (2001), los requerimientos de energía para mantenimiento y producción de leche se expresan como Energía Neta de Lactancia (NE_L). La NE_L es la energía contenida en la leche producida (NRC, 2001), conformada por la sumatoria de los calores de combustión totales de cada componente de la leche, es decir, de la grasa (9,29 Mcal/kg), proteína (5,71 Mcal/Kg) y lactosa (3,95 Mcal/Kg).

A la relación entre la energía consumida en la dieta y la energía requerida por la vaca para su mantenimiento, producción de leche, crecimiento y actividad, se le denomina balance energético (BE), que está representada por la energía de mantenimiento y la energía para producción de leche en una vaca lactante (Butler & Smith, 1989; Gonçalves et al., 2009).

El BE de la vaca recién parida regula la secreción de hormonas que tienen efecto sobre el crecimiento de los folículos en el ovario, la ovulación y la formación del cuerpo lúteo (CL) (Bisinotto et al., 2012).

La mayor demanda de energía ocurre en la lactancia temprana y durante el pico de lactancia. Esta demanda es suplida a través del consumo de energía proveniente de la dieta y de la movilización de reservas corporales (Butler & Smith, 1989).

Dicho balance refiere el estado metabólico del individuo que para la mayoría de las vacas en el período postparto es negativo (BEN), es decir, sus requerimientos de energía (en gran mayoría, de lactancia) superan los consumos de la misma en la dieta (Butler, 2000; Montaña & Ruiz-Cortés, 2005).

Se ha reportado una relación directa entre lactancia temprana y el BEN de la vaca recién parida, en donde Butler et al (1989) indican un $r = - 0.80$ entre producción de leche y el balance energético.

Por su parte, Villa-Godoy et al (1988) reportaron que en vacas Holstein postparto, el BE estaba altamente afectado por el CMS ($r = 0,73$) y en menor proporción por la producción de leche ($r = - 0,25$). Por tanto, las limitaciones en el consumo de energía traen grandes repercusiones sobre el desempeño reproductivo de la vaca (Butler, 2000; Butler & Smith, 1989).

Como lo reporta Butler (2000), la duración del BEN influye en la aparición de la primera ovulación que algunos autores han descrito, puede suceder alrededor de los 17 a 42 días postparto, encontrándose incluso a los 14 días posterior al estado energético negativo mas bajo (Canfield & Butler, 1991).

Si la proporción de energía en la dieta preparto aumentase, se podría incrementar el CMS y por consiguiente el consumo de energía, por lo que al momento del parto el BE no sería tan agudo en las vacas lactantes (McNamara et al., 2003; Santos, 2001). Por otra parte, si se hace una reducción en el estímulo por el amamantamiento, otra de las causas que tiene efectos a nivel reproductivo, se puede disminuir el tiempo en anestro postparto (Henao et al., 2000; Montaña & Ruiz-Cortés, 2005; Short et al., 1990).

Mientras la vaca recién parida y en lactancia temprana se enfrente a un estado de desnutrición por disminución en el CMS en el período postparto y alta producción de leche, el BEN se manifiesta en largos períodos de anestro postparto (Bindari et al., 2013; Santos, 2001) como consecuencia de la inhibición en la secreción pulsátil de la hormona luteinizante (LH) (Butler, 2000; Schillo, 1992), necesaria para el retorno a la actividad ovárica (Santos, 2001). Kadokawa et al (2006) reportaron una relación positiva entre el estado energético y la secreción de la LH. Por su parte, De Vries & Veerkamp (2000) indicaron que por cada 10 MJ de EN_L/d (energía neta de lactancia) disminuídos en el período puede aumentar el período a la primera ovulación en 1.25 días

En el período postparto la vaca inicia una actividad ovárica, representada por varias ondas foliculares entre los 5 a 7 días postparto (Butler, 2000), entre las cuales ciertos folículos por acción de la hormona folículo estimulante (FSH) son seleccionados para crecer. Una vez se presentan tanto la dominancia de un folículo (a los 16-20 días postparto (Beam & Butler, 1997)), como la atresia de los subordinados, los receptores de gonadotropinas en el folículo dominante, especialmente el de la LH (LHR), se expresan (Montaña & Ruiz-Cortés, 2005) en las células de la granulosa de dicho folículo. Al ocurrir este fenómeno posiblemente se provoca una dependencia mayor del folículo hacia la LH, hecho que condiciona al folículo para alcanzar su tamaño preovulatorio y de ésta manera aumenta la producción de estradiol, necesaria para dar inicio al comportamiento del estro y el pico preovulatorio de LH, para posteriormente presentarse la ovulación (Montaña & Ruiz-Cortés, 2005).

A pesar de que la vaca se encuentre en anestro postparto, las ondas foliculares en el ovario se siguen dando. En esta condición, la cohorte no presenta la formación de un folículo dominante debido a una alteración en la liberación

pulsátil de la LH y por ende no hay ovulación (Beam & Butler, 1997; Montaña & Ruiz-Cortés, 2005), reduciendo la capacidad de respuesta del ovario a la estimulación de la LH (Butler, 2000).

Para compensar este estado de BEN, la vaca inicia la movilización de reservas corporales, que en primera instancia son reservas de tejido adiposo. Si esta movilización llega a ser excesiva, puede ocasionar una disminución en desempeño reproductivo, presentando un alteración en la concepción debido a un retraso en el inicio de los ciclos estrales después del parto y por consiguiente una disminución en las tasas de concepción (Butler & Smith, 1989; Santos, 2001).

Según Butler & Smith (1989), el BEN se relaciona directamente con el intervalo parto-primera ovulación, por lo que el cambio de BEN a BEP (balance energético positivo), es una señal de la reiniciación de la actividad ovárica (Butler, 2000; Montaña & Ruiz-Cortés, 2005). Por su parte, Lucy et al. (1992b) reportó que vacas que presentaron mayor CMS en el período postparto presentaron un intervalo parto-primera ovulación más corto, sugiriendo que los niveles de CMS y nutrientes afectan el desempeño reproductivo de la vaca.

El amamantamiento de las crías (Ruiz-Cortés & Olivera-Angel, 1999) y la condición de desnutrición o BEN son los principales factores que ejercen un efecto negativo sobre la secreción de LH (Santos, 2001). Esta situación de BEN en una vaca postparto genera un estado de hipoglicemia que a su vez induce a una hipoinsulinemia (Beam & Butler, 1997; Butler, 2000). Los receptores de la insulina ubicados en la eminencia media del hipotálamo que metabolizan la glucosa de este tejido neural regulan la secreción hipotalámica de GnRH. Al no haber altos niveles de glucosa y por ende de insulina, este tejido neural metaboliza cetonas. Este hecho disminuye la actividad y secreción de las gonadotropinas, por lo que la respuesta del ovario al estímulo gonadotrópico se limita. (Santos, 2001; Rodríguez-Cuello, 2005; Schneider, 2004; Van-Houten et al., 1979). Cuando esto sucede, se afecta la secreción de LH, la foliculogénesis y por consiguiente la ovulación (Santos, 2001). En estados de BEN, por la alteración en la secreción pulsátil de la LH, se afecta la capacidad de respuesta del ovario. Bisinotto et al (2012) y Henao et al (2010) en este sentido relatan que esta situación de hipoglicemia e hipoinsulinemia activan la lipólisis del tejido adiposo, el cual se torna en la primera fuente de energía disponible para el animal. Se da inicio a la hidrólisis de los triglicéridos incrementando la disponibilidad de ácidos grasos no esterificados (NEFA) que serán utilizados como la principal fuente de energía. La concentración de NEFA se puede utilizar como indicador del estado energético de la vaca recién parida, por lo que se ha reportado que

niveles de NEFA \geq 0,7mM indican que la vaca tiene menor capacidad de reiniciar su actividad ovárica antes de los 50-70 días postparto y por ende, su estado de preñez se puede retrasar (Ribeiro et al., 2011; Santos et al., 2010).

El factor de crecimiento insulinoide tipo I (IGF-I), un complejo protéico que es sintetizado en hígado según el estado energético del animal, interviene en el desarrollo folicular, la ovulación y la producción de estrógeno y progesterona (McGuire et al., 1992).

Según Spicer & Echternkamp (1995), el BEN disminuye los niveles de insulina y IGF-I, afectando la mitogénesis de las células de la granulosa y la producción de progesterona por parte de las células de la granulosa y luteales. Por su parte Beam & Butler (1997), mencionan que los niveles limitantes de IGF-I, cuando el animal se encuentra en BEN, afectan directamente el desarrollo de los folículos. Butler (2003), describe que cuando la vaca experimenta hipoinsulinemia en un BEN, presentan una limitada expresión a nivel hepático de los receptores 1A de la hormona del crecimiento (GH). Este hecho altera el eje GH/IGF-I, reduciendo la síntesis de IGF-I en el hígado, que se ha asociado con la disminución de la sensibilidad del folículo a la LH y de su desarrollo (Lucy et al., 1992). Butler (2003), reporta que cuando el estado energético en el vaca lechera mejora, dicha expresión del receptor de GH en el hígado incrementa, sumado a la nivelación de la síntesis de IGF-I.

Baskin et al (1999), menciona que el IGF-I afecta directamente el eje hipotálamo-hipófisis-ovario. A nivel del hipotálamo, se reporta que puede aumentar los niveles del GnRH en la fase estral de los rumiantes cuando IGF-I y E₂ son administrados en bovinos, lo que consecuentemente puede aumentar la liberación del LH preovulatorio desde la hipófisis (Hashizume et al., 2002). A nivel de ovario, IGF-I promueve la mitosis de las células de la granulosa, estimula la ovulación, fertilización implantación y desarrollo del embrión, como lo mencionan Montaña & Ruiz-Cortés (2005). Además, estimula la síntesis de receptores de FSH y LH para luego incrementar la esteroidogénesis (Montaña & Ruiz-Cortés., 2005) y así permitir que los folículos alcancen las condiciones preovulatorias.

En tanto, Britt (1994) sostuvo que los efectos de BEN también afectan la viabilidad del oocito del folículo ovulatorio y el cuerpo lúteo resultante de la ovulación de dicho folículo. En este sentido, Kendrick et al (1997) en un experimento en el cual asignó aleatoriamente 20 vacas lecheras a tratamientos de alto y bajo consumo de energía según su peso vivo (3,6% y 3,2% respectivamente), encontró que los oocitos aspirados de vacas con alto consumo de energía presentaron mejores niveles del factor de crecimiento insulinoide tipo I

(IGF-I) y progesterona plasmática que mejoraban la calidad de los mismos, frente a las vacas alimentadas con bajos niveles de energía. Leroy et al (2004) mencionan que cuando ocurre la hipoglicemia durante el BEN del período postparto, las concentraciones de glucosa a nivel intrafolicular disminuyen. Este acontecimiento altera el desarrollo del oocito, afectando la expansión del cumulus, la maduración del núcleo, el clivaje y el posterior desarrollo del blastocisto (Bisinotto et al., 2012). Aunque el oocito no utiliza la glucosa como tal, las células de el cúmulus necesitan de éste componente para la glicólisis, proceso por el cual, provee con piruvato y lactato como fuentes de ATP al oocito (Cetica et al., 2002).

Gong et al (2002) indican que con dietas de alta densidad energética que inducen altos niveles de insulina en la sangre, el período parto-primera ovulación se reduce y se incrementa el número de vacas que ovulan durante los primeros 50 días en el período postparto.

En este sentido, cuando ocurre una hiperglicemia producto del consumo de una dieta de alta densidad energética, existen también repercusiones en el oocito, afectando su maduración nuclear (Jungheim et al., 2010).

Por su parte, Vasconcelos et al (1998), mencionan que condiciones como el BE y el CMS tienen un gran efecto sobre los niveles circulantes de progesterona en plasma (limita su concentración necesaria), que consecuentemente puede interferir con el mantenimiento de la gestación (Butler, 2000; Villa-Godoy et al., 1988).

En situaciones de consumo de dietas con alta densidad energética, ocurre una disminución de los niveles plasmáticos de progesterona, por un mayor paso de sangre a través del hígado, que depura dicha hormona. Este hecho se vió reflejado en un experimento de Parr et al (1993) con ovejas y en un reporte de Nolan et al (1998), en el que novillas alimentadas con dietas ricas energía presentaron niveles de progesterona plasmática 25% menos que las alimentadas con dietas con bajo nivel de energía. En tanto, Villa-Godoy et al (1988) reportaron que cuando la vaca presenta hipoglicemia, se reduce la concentración de progesterona en suero.

Por otra parte, la hormona denominada leptina, secretada por el tejido adiposo existente en la hembra bovina, que refleja la condición corporal de la misma, es una indicadora del balance energético y metabólico del animal (Miner, 1992). Esta hormona actúa como moduladora del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas (Brann et al., 2002) y a la vez desencadena efectos sobre el factor de crecimiento

insulinoide tipo I (IGF-I) (Miner, 1992). Tanto la leptina como el IGF-I tienen consecuencias sobre el desempeño reproductivo de la hembra bovina, en procesos de desarrollo folicular en ovarios y actividad esteroideogénica (Smith et al., 2002). En condiciones de BEN y bajo CMS propios de la lactancia temprana, ocurre la hiperleptinemia que conlleva a la disminución de la esteroidogénesis en las células de la granulosa de los folículos, inhibiendo la producción de estrógenos y progesterona y afectando el desarrollo del oocito (Montaño & Ruiz-Cortés, 2005; Ruiz-Cortés et al., 2003)

Montaño & Ruiz-Cortés (2005) mencionan que la leptina regula la liberación de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), modulando la secreción de gonadotropinas en la hipófisis.

1.5.3 Niveles de proteína en la dieta y sus efectos en el desempeño reproductivo en vacas lactantes

Según NRC (2001), los requerimientos de proteína en vacas en lactancia incluyen las exigencias de mantenimiento y de producción. Los requerimientos de mantenimiento abarcan el nitrógeno endógeno urinario, el nitrógeno en la piel, (secreciones de la piel y cabello) y el nitrógeno metabólico fecal, mientras que los requerimientos de producción incluyen las exigencias de proteína metabolizable para concepción, crecimiento y lactancia.

Se ha reportado que la producción de leche en la lactancia de la vaca y el CMS pueden ser incrementados aumentando el consumo de proteína en la ración de alimento (dietas con 17-19% proteína cruda) (Butler, 2000), pero si esta estrategia se aplicara, se pueden generar efectos negativos sobre el desempeño reproductivo (Bindari et al., 2013; Butler, 1998; Santos, 2001).

En el panorama de ofrecer raciones alimenticias con alta concentración de proteína degradable en rumen al ganado vacuno, la fermentación ruminal genera grandes cantidades de amoníaco, que suelen ser utilizadas para la producción de proteína microbiana. Para que esto suceda, es determinante el papel que juegan los carbohidratos fermentables que son requeridos para la síntesis de dicho producto (Butler, 2000). Cuando la disponibilidad de energía fermentable es limitada o hay excesivas cantidades de proteína cruda en la dieta, el amoníaco escapa del rumen vía portal para llegar a hígado y ser convertido a úrea, proceso por el cual se eliminan excesos de éste componente. Además, la

úrea, también proviene del proceso de deaminación y metabolismo de amino ácidos que llegan al hígado. Por estas rutas, los niveles circulantes de úrea en sangre se incrementan (Ferguson & Chalupa, 1989) y, al ser una molécula soluble en agua y de fácil ingreso a las células y tejidos del cuerpo, ingresa al tejido mamario y reproductivo, mas específicamente a las células uterinas (Butler, 1998). La alta concentración de nitrógeno uréico en sangre genera una alta excreción de úrea en leche y orina (Roseler et al., 1993) y además afecta el ambiente uterino necesario para la sobrevivencia del embrión (Butler, 2000; Santos, 2001).

Para eliminar los excesos de amoníaco en el rumen, se requiere de energía adicional para su metabolismo a úrea en el hígado y excreción (Santos, 2001). Se ha reportado que por cada gramo de nitrógeno se requieren 12 Kcal de energía, por lo que de nuevo el balance energético que tenga la vaca recién parida es definitivo para eliminar estos excesos y detoxificar el animal (Arias & Nesti-de-Alonso, 1999). Cuando la cantidad de amoníaco de desecho supera la actividad excretora del hígado, la vaca puede presentar una intoxicación.

Además, se ha reportado que dietas con altas concentraciones de proteína cruda (PC) tienen efectos negativos sobre la concentración de progesterona en plasma (Butler, 2000). Este hecho se puede explicar debido a que el metabolismo protéico, la deaminación, la excreción de los metabolitos de la misma y la alta producción de leche, que tienen un costo energético en la vaca en lactancia temprana. Este hecho puede conllevar a un BEN que disminuye las concentraciones plasmáticas de progesterona en los primeros ciclos ováricos, prolongando de ésta manera los días a la primera ovulación (Bindari et al., 2013; Britt, 1994; Butler, 2000; Butler, 1998). Butler (1998) y Ferguson et al (1993), han mencionado que cuando la concentración en sangre, plasma o leche de nitrógeno uréico exceden los 19-20mg/dl, las tasas de concepción tienden a disminuir por una relación inversa entre nitrógeno uréico en plasma y pH del lumen uterino (Butler, 1998).

Es bien sabido que la implantación y el desarrollo del embrión durante la preñez temprana dependen del ambiente uterino (Butler, 2000; Butler, 1998). Las condiciones del ambiente uterino son un reflejo de las secreciones de las glándulas endometriales (Butler, 1998) que se encuentran en el útero y secretan moléculas y proteínas al lumen.

Jordan et al (1983) monitoreando los niveles de úrea en secreciones uterinas y en sangre, encontraron que vacas alimentadas con dietas con un 23% de PC presentaban dichos niveles aumentados, generando un ambiente posiblemente

inviabile para el desarrollo embrionario y por consiguiente afectando la fertilidad de la hembra bovina. Altos niveles de PC en la dieta de vacas recién paridas alteran las condiciones uterinas necesarias para un óptimo desarrollo embrionario a través de la disminución del pH uterino, por medio del incremento de los niveles uterinos de úrea (Butler, 2000). Se ha descrito que existe una relación inversa entre nitrógeno uréico en plasma y el pH uterino (Elrod & Butler, 1993).

Gilbert et al (1996), reportaron que la presencia de úrea en cultivos de células endometriales incrementó significativamente la secreción de prostaglandinas PGF_2 alfa y PGE_2 , situación que interfiere con la viabilidad y desarrollo embrionario.

Por su parte, Bindari et al (2013), mencionaron que situaciones de altas concentraciones de úrea o amoníaco en el animal pueden alterar la maduración del oocito y afectar consecuentemente la fertilización del mismo. Garcia-Bojalil et al (1998), encontraron que en estadíos de postparto temprano, vacas alimentadas con altos niveles de proteína en la dieta presentaron menor número de folículos en los ovarios.

1.6 Sistemas silvopastoriles para alimentación de ganado bovino

Los sistemas silvopastoriles (SSP), se clasifican como una de las tres categorías de sistemas agroforestales propuestos por Macedo (2000) y se pueden definir como una opción sostenible de producción pecuaria que integra componentes tradicionales como forrajeras herbáceas o rastreras (gramíneas y leguminosas) con especies forestales (leñosas perennes) como árboles o arbustos y animales en un mismo espacio, bajo un sistema de manejo integral (Murgueitio et al., 2011; Pezo & Ibrahim, 1998) y cuyos beneficios (económicos, sociales y ambientales) entre otros son: gran capacidad de reducir la estacionalidad de producción de forraje durante el año, mayor oferta de nutrientes al animal aportados por el alto contenido protéico de la leguminosa y su mejor digestibilidad, gran capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico que mejora la fertilidad del suelo, etc. (FAO, 1999; Gonçalves et al., 2009).

Estos sistemas se caracterizan por la producción de ganado asociados a explotaciones silviagrícolas que aportan sombra a los animales como mecanismo para su bienestar y confort, diversifica y estabilizan la producción de biomasa forrajera, producen leche o carne, productos silvícolas y servicios ambientales

como la fijación de carbono en la madera producida, entre otros (Gonçalves et al., 2009).

A su vez, los SSP se clasifican en las siguientes categorías (Veiga & Veiga, 2000):

-Sistemas silvopastoriles con leñosa arbórea perenne con fines maderables, establecidos o sembrados por el productor.

-Sistemas silvopastoriles con leñosa arbórea perenne no establecido o sembrado por el productor, que naturalmente han crecido. También conocido como regeneración natural.

-Sistemas silvopastoriles permanentes, en donde los componentes (forrajera herbácea, arbustiva y animal) son establecidos por largos períodos de explotación.

-Sistemas silvopastoriles temporales, en donde alguno de los componentes del sistema, ya sean los animales o pasturas, es mantenido en el sistema hasta que los árboles allí sembrados permitan su estadía en el mismo.

Los árboles incluidos en el SSP generan un dosel y microclima que beneficia los animales y las forrajeras que allí se encuentran. Este dosel reduce la radiación solar y por consiguiente la temperatura ambiente, reduciendo el estrés térmico (Mahecha, 2003) y promoviendo de ésta manera el desempeño reproductivo de los animales (Pezo & Ibrahim, 1998). Algunos estudios reportaron que bajo la copa de los árboles de los SSP se puede llegar a disminuir la temperatura hasta 9,5°C, mejorando el bienestar de los animales que allí pastorean, incrementándose de ésta manera los períodos de pastoreo y CMS (Pezo & Ibrahim, 1998).

Se ha demostrado la potencialidad de los SSP para incrementar la producción de leche (Mahecha et al., 2001) y carne (Mahecha, 2003; Mahecha et al., 2001), pero igualmente se ha reconocido que un correcto desempeño productivo del ganado bovino, es el reflejo de la eficiencia reproductiva del hato.

La *Leucaena (Leucaena leucocephala)*, una de las principales arbustivas y arbóreas utilizadas en la alimentación de ganado lechero bajo SSP, es comúnmente utilizada en el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi). Se adapta fácilmente en diferentes condiciones edafoclimáticas, principalmente por su capacidad de rebrote inclusive durante la estación seca (Gonçalves et al., 2009). Es altamente apetecida por los rumiantes (Gonçalves et al., 2009) por su alta palatabilidad (Costa, 1987) y tiene la capacidad de producir

altas cantidades de biomasa forrajera por unidad de área presentando altos niveles de minerales y proteína (Gonçalves et al., 2009). Se caracteriza por presentar un alto valor de proteína cruda (19-30%) (Othman et al., 1985), hecho que favorece la inclusión de dicho forraje en la alimentación de rumiantes.

Se sugiere que la proporción máxima de proteína total ingerida de la dieta proveniente de la *Leucaena* es de un 30%, pues la presencia de mimosina y su metabolito ruminal 3,4-DHP, un componente tóxico de ésta, puede generar efectos adversos (Gonçalves et al., 2009) en animales que no están acostumbrados al consumo de altas cantidades de dicho forraje (Barros-Rodríguez et al., 2014; Wayne, 1984). Existen reportes de que las hojas de la *Leucaena* contienen alrededor de 2,3 a 6,95% de dicho componente (García et al., 2008), que en altas concentraciones en el animal puede generar pérdida de peso, alteración de la concentración de las hormonas tiroideas, anorexia y alopecia, entre otros (Jones et al., 1989). De la misma manera, en ganado bovino no adaptado a altos consumos de esta leguminosa, se han reportado efectos sobre el comportamiento reproductivo, como la reducción de la tasa de natalidad por la alta mortalidad embrionaria (Jones et al., 1989) y muerte perinatal (Hamilton et al., 1971). En ovejas Pelibuey alimentadas con densidades de 35.000 plantas/ha y 55.00 plantas/ha asociadas con *Panicum maximum* y *Cynodon nlemfluensis*, Barros-Rodríguez et al. (2012) reportaron efectos deletéreos en CMS (83.81 ± 04.07 g MS/ Kg Peso vivo^{0.75} y 71.67 ± 8.12 g MS/Kg Peso vivo^{0.75} respectivamente) y ganancia diaria de peso (106.41 ± 11.66 g/oveja y 81.33 ± 11.81 g/oveja, respectivamente) cuando dichos animales consumían altas cantidades de mimosina contenida en la dieta con mayor cantidad de *Leucaena*.

Esta leguminosa arbustiva y/o arbórea en SSP, que puede llegar a producir de 20 a 25t de MS/ha en dos cortes anuales, se recomienda establecerla en asocio con gramíneas (Franco & Souto, 1984) como la estrella africana (*Cynodon plectostachius* y *nmefluensis*), cuyo valor nutritivo se ve beneficiado por factores como la calidad del suelo donde es cultivada y el sombreado que recibe, pues ha sido reportado que éste aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Lo anterior se justifica, según Wilson (1998), porque el dosel del arbusto y/o el árbol permite mayor humedad en el suelo, que incrementa la actividad microbiana permitiendo que ésta descomponga mayor cantidad de materia orgánica, aumentando el flujo de nitrógeno en el suelo.

En cuanto a las gramíneas forrajeras más utilizadas en los SSPi, se conoce que el dosel aportado por estratos de arbóreas o arbustos limita el crecimiento y producción de biomasa forrajera, ya que puede interferir con la captación de rayos solares y nutrientes en el suelo. Algunas de las pasturas más utilizadas en

SSPi son *Brachiaria* y *Cynodon*,

En cuanto a los contenidos de FDN y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) de los componentes del SSP, se ha reportado que por efectos de la sombra sobre las gramíneas forrajeras perennes, se puede disminuir en un 3-4% el contenido de FDN y aumentar en un 1-3% la DIVMS (Gonçalves et al., 2009). Estos hallazgos podrían sugerir un aumento del CMS cuando el ganado lechero pastorea SSP. Investigaciones realizadas por Paciullo et al (2006) coinciden con el anterior reporte, debido a que encontraron mayores contenidos de FDN en *B.decumbens* cuando era cultivada a pleno sol.

1.7 Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles han sido utilizados como alternativas de producción ganadera. Sus efectos sobre la productividad del ganado se han reportado en varios estudios, pero se hace interesante y necesario describir y evaluar el comportamiento reproductivo del ganado bovino Colombiano bajo este tipo de sistemas. Conociendo los requerimientos nutricionales del ganado lechero en la lactancia temprana, y justificando la importancia de mantener un balance nutricional adecuado en esta etapa de la vida productiva de la vaca, se deben utilizar estrategias alimenticias que aporten los nutrientes demandados y satisfagan las necesidades de los mismos. En el contexto de los bajos desempeños reproductivos del ganado bovino en el territorio nacional, y encontrándose *ad portas* de convenios y acuerdos internacionales de libre comercio, se plantea que la eficiencia reproductiva del hato bovino que depende en gran medida sobre el manejo nutricional del mismo, se verá mejorada por medio de la implementación de sistemas como el silvopastoril

Literatura citada

- Adamiak, S. J., Mackie, K., Watt, R. G., Webb, R., & Sinclair, K. D. (2005). Impact of nutrition on oocyte quality: cumulative effects of body composition and diet leading to hyperinsulinemia in cattle. *Biology of Reproduction*, 73(5), 918–26. doi:10.1095/biolreprod.105.041483
- Aguilar-Pérez, C. F., Ku-Vera, J., Magaña-Monforte, J. G. (2014). The use of dietary fats and concentrates to alleviate the negative energy balance in crossbred cows in early lactation. *Tro & Subtrop Agroecosist.* 17:155-159.
- Álvarez, A., & Moreno, M. (2004). Análisis técnico-económico de una finca manejada bajo el sistema doble propósito en el municipio de San Antonio de Palmito, Sucre. Universidad de Sucre.
- Andriquetto, J., Perly, L., Minardi, I., & et al. (1990). *Nutrição animal: As bases e os fundamentos da nutrição animal* (3.ed. ed.). São Paulo: Nobel. v.1.
- Angulo, J., Carulla, L., Giraldo, C., Mahecha, L., Olivera, M., et al. (2005) Lípidos en la nutrición de reumiantes. *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca. Biogénesis.* Universidad de Antioquia. Medellín. Angulo
- ARC. (1980). *The nutrient requirements of ruminant livestock.* Wallingford: CAB International.
- Arias, J., & Nesti-de-Alonso, A. (1999). Importancia de los niveles de nitrógeno ureico en leche y sangre en el ganado lechero. *Rev.Fac.Agron.*, 16(5), 533.
- Arthur, G., Noakes, D., Pearson, H., & Parkinson, T. (2001). *Veterinary Reproduction and Obstetrics.* (8th Edn., p. 520). London, England: Saunders, W.B et al.
- Asodoble. (2001). Ideales técnicos del sistema de producción doble propósito. *Revista Costa Ganadera* n.45, 12–13.
- Association Of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). Official Method 942.05. Determination of Ash in Animal Feed. In *Official Methods of Analysis of AOAC International.* (18th editi., p. 8). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

- Avila, M., Lucci, M., Aquino, S., & Bao, N. (2005). Morphometric and ultrastructural characterization of *Bos indicus* preantral follicles. *Anim Reprod Sci*, 87, 45–57.
- Bach, A., Calsamiglia, S., & Stern, M. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. *J Dairy Sci*, 88(1), E9–E21.
- Balcázar, A. (1994). Sistemas de producción y productividad de la ganadería en Colombia. In *Seminario Internacional Manejo de la Reproducción Bovina en Condiciones Tropicales* (pp. 3–10).
- Barahona, R., & Sánchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Rev Corpoica*, 6(1), 69–82.
- Baruselli, P., Reis, E., Marques, M., Nasser, L., & Bó, G. (2004). The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Anim Reprod Sci*, 82-83, 479–486.
- Baskin, D. G., Lattermann, D. F., Seeley, R. J., Woods, S. C., & Porte, D. J. (1999). Insulin and leptin: dual adiposity signals to the brain for the regulation of food intake and body weight. *Brain Res*, 848, 114–123.
- Barros-Rodríguez, M., Solorio-Sánchez, J., Ku-Vera, J., Ayala-Burgos, A., Sandoval-Castro, C., Solís-Pérez, G. (2012). Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop Anim Health Prod*. 44:1873-1878.
- Barros-Rodríguez, M., Sandoval-Castro, C. A., Solorio-Sánchez, J., Sarmiento-Franco, L. A., Rojas-Herrera, R., Klieve, A. V. (2014). *Leucaena leucocephala* in ruminant nutrition. *Trop & Subtrop Agroecosyst*. 17: 173-183.
- Basurto, H. B. (2005). El anestro posparto en la ganadería bovina del trópico. *Memorias Congreso Internacional de Reproducción Bovina*. Intervet. Bogotá.
- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J Dairy Sci*. 63: 1514.

- Beam, S. W., & Butler, W. R. (1997). Energy balance and ovarian follicle development prior to first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biol Reprod*, 56, 133–142.
- Beg, M., Bergfelt, D., Kot, K., & Guither, O. (2002). Follicle selection in cattle: Dynamics of follicular fluid factors during development of follicle dominance. *Biol Reprod*, 66, 120–126.
- Benítez, N., & Medina, N. (2001). Análisis reproductivo de un hato Brahman en el municipio de San Onofre, Sucre. Tesis. Universidad de Sucre.
- Berchielli, T. T., Soares, J. P. G., & Aroeira, L. J. M. (2001). Estimativa da ingestão voluntária a partir de características de degradação do capim-coastcross (*Cynodon dactylon* L. Pers.), sob pastejo, por vacas em lactação. *Rev. Bras. Zootec*, 30, 1332–1339.
- Bergman, E. (1983). The pools of cellular nutrients: glucose. In P.M. Riis. *Dynamic biochemistry of animal production*. (pp. 173–196). The Netherlands: Elsevier Science Publishers.
- Bindari, Y. R., Shrestha, S., Shrestha, N., & Gaire, T. N. (2013). Effects of nutrition on reproduction- A review. *Adv. Appl Sci. Res.*, 4(1), 421–429.
- Bisinotto, R. S., Greco, L. F., Ribeiro, E. S., Martinez, N., Lima, F. S., Staples, C. R., ... Santos, J. (2012). Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows, 260–272.
- Braga-Reis, R., Mourão-deSousa, B., & Antenor-deOliveira, M. (2009). Sistemas de alimentação para vacas de alta produção. In *Alimentação de Gado de Leite* (pp. 134–211). Belo Horizonte: FEPMVZ.
- Brann, D. W., Wade, M. F., Dhandapani, K. M., Mahesh, V. B., & Buchanan, C. D. (2002). Leptin and reproduction. *Steroids*, 67, 95–104.
- Britt, J. H. (1994). Follicular development and fertility: Potential impacts of negative energy balance. In *National Reproduction Symposium* (pp. 103–112). Pittsburgh, PA.
- Butler, W. (1998). Review: Effect of Protein Nutrition on Ovarian and Uterine Physiology in Dairy Cattle. *J Dairy Sci*, 81, 2533–2539.

- Butler, W., & Smith, R. (1989). Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 72(3), 767–83.
- Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 449–57. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10844215>
- Butler, W. R. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livest Prod Sci*, 83, 211–218.
- Calegare, L., Alencar, M. M., Packer, I. U., Lanna, D. P. D. (2007). Energy requirements and cow/calf efficiency of Nellore and Continental and British Bos taurus x Nellore crosses. *J Anim Sci.* 85: 2413-2422.
- Canfield, R. W. & Butler, W. R. (1991). Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *J Anim Sci.* 69: 740.
- Campbell, B., Telfer, E., Webb, R., & Baird, D. (2000). Ovarian autografts in sheep as a model for studying folliculogenesis. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 163, 137–139.
- Campos, R., & Jaramillo, L. (2008). Estrés y factores asociados al periparto en bovinos. Proyecto: Determinación del efecto de estrés del parto sobre la homeostasis de los bvinos seleccionados para producción lechera. Comparación racial. (pp. 1–20). Palmira, Colombia.
- Castillo, J. H., Ruiz-Cortéz, Z. T., Olivera, M., & Jiménez, C. (1997). Reactivación ovárica postparto en vacas cebú Brahman con relación al peso y condición corporal. *Rev Col Cienc Pec*, 10, 12–18.
- Castro, L. E. C. (2007). Seguimiento técnico de la producción bovina en un sistema doble propósito en los municipios de Corozal y San Marcos (Sucre). Universidad de Sucre.
- Ceballos, A., Gómez, P., Vélez, M., Villa, N., & López, L. (2002). Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales, Colombia. *Rev Col Cienc Pec*, 15, 13–25.

- Cetica, P., Pintos, L., Dalvit, G., & Beconi, M. (2002). Activity of key enzymes involved in glucose and triglyceride catabolism during bovine oocyte maturation in vitro. *Reproduction*, 124, 675–681.
- Correa, H. (2001). Relación producción-reproducción en vacas de alto potencial genético. Revisión. (pp. 1–15).
- Cortolima. (2013). Plan de gestión ambiental Regional del Tolima. 2013-2023 (pp. 1–195). Tolima.
- Costa, N. (1987). Recomendações técnicas para o cultivo da leucaena. (Comunicado Técnico. p. 50.).
- CSIRO. (2007a). Nutrient requirements of domesticated animals. Melbourne: CSIRO Publishing.
- CSIRO. (2007b). Nutrient requirements of Domesticated Ruminants (pp. 1–296). Australia.
- Cunningham, J. (2003). *Fisiología Veterinaria*. (Elsevier, Ed.) (Tercera Ed., pp. 1–575). Saunders.
- D’Occhio, M., Neish, A., & Broadhurst, L. (1990). Differences in gonadotrophin secretion postpartum between Zebu and European breed cattle. *Anim Reprod Sci*, 22, 311–317.
- Dado, R. G., & Allen, M. S. (1995). Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber of inert bulk. *J Dairy Sci*, 78, 118–133.
- DANE. (2013). Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2012 (p. 16). Bogotá, Colombia.
- Dann, H. M., Varga, G. A., Putnam, D. E. (1999). Improving energy supply to late gestation and early postpartum dairy cows. *J Dairy Sci*. 82: 1765-1778.
- De Vries, M. J., Veerkamp, R. F. (2000). Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *J Dairy Sci*. 83: 62-69.

- Departamento Nacional de Planeación. (2007a). Agenda interna para la productividad y la competitividad. Documento Regional Tolima (pp. 1–52). Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007b). Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 “Estado Comunitario: Desarrollo para Todos.”
- Departamento Nacional de Planeación. (2010). Consejo Nacional de Política Económica y Social. Política Nacional para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo Colombiano. Conpes 3675. (p. 50). Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2010). Documento Conpes 3676 (pp. 1–84). Bogotá, D.C. Colombia.
- Dirección de Desarrollo Rural Sostenible. (2007). Visión Colombia: II Centenario. Aprovechar las potencialidades del campo. (p. 86). Bogotá, Colombia.
- Drackley, J. (1999). Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier. *J Dairy Sci* 82: 2259.
- Elrod, C. C., & Butler, W. R. (1993). Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J Anim Sci*, 71, 694–701.
- Ewan, R. (1996). Vitaminas. In Swenson, M.; Reece, W.O. *Dukes fisiología dos animais domesticos* (11.ed ed., pp. 456–469). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- FAO. (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2009 (p. p.184). ROMA.
- FEDEGAN. (2006). La vision de Corpoica para el mejoramiento del hato bovino nacional (p. p.33).
- Fedegan. (2006b). Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana, 2019 (p. 294). Bogotá D.C. doi:978-958-98018-1-9
- Ferguson, J. D., & Chalupa, W. (1989). Impact of protein nutrition on reproduction in dairy cows. *J Dairy Sci*, 72, 746–766.

- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., Blanchard, T., & Reeves, M. (1993). Serum urea nitrogen and conception rate: The usefulness of test information. *J Dairy Sci*, 76, 3742–3746.
- Figueira, M., Pegorer, R., Ereno, R., Satrapa, V., Pinheiro, L., & Trinca, C. (2011). Neither plasma progesterone concentrations nor exogenous eCG affects rates of ovulation or pregnancy in fixed-time artificial insemination (FTAI) protocols for puberal Nellore heifers. *Theriogenology*, 75(1), 17–23.
- Fortune, J. (1994). Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biol Reprod*, 50, 225–232.
- Fox, D. G., Tylutki, T. P., Tedeschi, L. O., VAN-Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., ... Russel, J. B. (2000). The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion: Model Documentation. Ithaca, NY: Animal Science Department, Cornell University.
- Fox, D., Sniffen, C., & O'Connor, J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci*, 70, 3578–3596.
- Franco, A., & Souto, S. (1984). Contribuição da fixação biológica de N₂ na abdução verde. In Fundação Cargil. (Ed.), *Adubação verde no Brasil* (pp. 199–215). Campinas, Brasil.
- Gallego, M. I. (2009). Manejo del Problema Reproductivo en Ganado de Leche. (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Ed.) (Primera Ed., p. 221). Bogotá D.C.
- Galvis, R. D., Múnera, E. A., Marín, A. M. (2005). Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Rev Col Cienc Pec*. Vol 18: 3.
- Galvis, R. D., Correa, H. J. & Ramírez N. F. (2003). Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y las concentraciones plasmáticas de Insulina e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* Vol 16: 3.
- García, D., Wencomo, H., González, M., Medina, M., & Cova, L. (2008). Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala*

basada en la composición química y la degradabilidad ruminal. *Revista MVZ Córdoba*, 13, 1294–1303.

- García, G. A., Maldonado, J. G., & López, J. G. (2003). Caracterización productiva y reproductiva de las explotaciones ganaderas del bajo Cauca y el litoral Atlántico Antioqueños. II Comportamiento de cuatro grupos raciales *Bos Indicus* en un sistema de bosque seco tropical (bs-T). *Rev.*, 16(2), 117–125.
- García-Bojalil, C. M., Staples, C. R., Risco, C. A., Savio, J. D., & Thatcher, W. W. (1998). Protein degradability and calcium salts of long chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: Reproductive responses. *J Dairy Sci*, 81, 1384–1395.
- Gilbert, R. O., Shin, S. T., Rabuffo, T. S., & Chandler, S. K. (1996). An in vitro model for the study of bovine endometrial physiology and pathophysiology. In 13th Int. Congr. Anim. Reprod. (pp. II–1). Sydney, Australia.
- Gómez, M. (1998). Influencia del tamaño en la eficiencia reproductiva y productiva de la vaca Brahman en el trópico. *El Cebú* 304, 42–52.
- Gonçalves, L., Borges, I., & Sales, P. D. (2009). Alimentação de Gado de Leite (p. 412). Belo Horizonte: FEPMVZ.
- Gong, J., Lee, W., Garnsworthy, P., & Webb, R. (2002). Effect of dietary-induced increases in circulating insulin concentrations during the early postpartum period on reproductive function in dairy cows. *Reproduction*, 123, 419–427.
- González, S. (2001). Reproducción bovina (Astro Data., p. 186). Maracaibo, Venezuela: Fundación Girarz.
- Graham, N. M., Searle, T., & Griffiths, D. (1974). Basal metabolic rate in lambs and young sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, 25, 957–971.
- Grajales, H. A. (2001). Comportamiento reproductivo de grupos raciales bovinos en el trópico cálido-húmedo Colombiano: Pubertad, ciclo estral, preñez temprana, posparto. Niveles de hormonas esteroides y su relación con la eficiencia reproductiva. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Grajales, H., Hernandez, A., & Prieto, E. (2006). Determinación de parámetros reproductivos basado en los niveles de progesterona en novillas doble

- propósito en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 18(144).
- Griffith, M., & Williams, G. (1996). Roles of maternal vision and olfaction in suckling-mediated inhibition of luteinizing hormone secretion, expression of maternal selectivity, and lactational performance of beef cows. *Biol Reprod*, 54, 761–768 [Abstract].
- Gwazdauskas, F. V., Kendrick, K. W., Pryor, A. W. & Balley, T. I. (2000). Symposium: Folliculogenesis in the bovine ovary. *J Dairy Sci*. 83: 1625-1634.
- Hamilton, R., Donaldson, L., & Lambourne, L. (1971). *Leucaena leucocephala* as a feed for dairy cows: Direct effect on reproduction and residual effect on the calf and lactation. *Aust. J. Agric. Res.*, 22, 681.
- Hashizume, T., Kumahara, A., Fujino, M., & Okada, K. (2002). Insuline-like-growth factor I enhances gonadotropin-releasing hormone- stimulated luteinizing hormone release from bovine anterior pituitary cells. *Anim Reprod Sci*, 70, 13–21.
- Henao, G., Galviz, R., Cardona, L., & Castro, N. (2010). Relación entre Pérdida de Peso, Perfil Lipídico y Concentraciones Plasmáticas de Leptina en Vacas Cebú Primerizas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5595–5605.
- Henao, G., Olivera, M., & Maldonado, J. G. (2000). Follicular dynamics during postpartum anestrus and the first estrous cycle in suckled or non-suckled Brahman (*Bos indicus*) cows. *Anim Reprod Sci*, 63, 127–136.
- Incoder, MADR, & Corpoica. (2005). Zonificación Agroecológica, evaluación económica y organización socioempresarial de sistemas de producción prioritarios en el área de desarrollo rural sur oriente del Tolima (pp. 1–110). Tolima.
- Ireland, J., Mihm, M., Austin, E., Diskin, M., & Roche, J. (2000). Historical perspective of turnover of dominant follicles during the bovine estrous cycle: Key concepts, studies, advancements, and terms. *J Dairy Sci*, 83, 1648–1658.

- Ishler, V., Heinrichs, J., & Varga, G. (1997). From feed to milk: Understanding rumen function. (p. 27). University Park: PennState, College of Agricultural Sciences.
- Jacobs, J., & Hargreaves, A. (1999). Feeding dairy cows. A manual for use in the Target 10 nutrition program. (J. Jacobs & A. Hargreaves, Eds.) (2nd edn., pp. 1–264). Victoria: Department of Natural Resources and Environment.
- Jenkins, T. G., Cundiff, L. V., & Ferrel, C. L. (1991) Differences among breed crosses of cattle in the conversion of food energy to calf weight during the preweaning interval. *J Anim Sci.* 69:2762-2769.
- Jiménez, C., & Hernández, A. (2000). *Lecturas sobre reproducción bovina. II. El ciclo estral de la vaca.* Bogotá D.C.
- Jones, R. M., McLennan, M. W., & Dowsett, K. F. (1989). The effect of *Leucaena leucocephala* on the reproduction of beef cattle grazing *Leucaena/Grass Pastures*. *Tropical Grasslands*, 23(2), 108–114.
- Jordan, E., Chapman, T., Holtan, D., & Swanson, L. (1983). Relationship of dietary crude protein to composition of uterine secretions and blood in high-producing dairy cows. *J Dairy Sci*, 66, 1854–1862.
- Jungheim, E., Schoeller, E., Marquard, K., Loudon, E., Schaffer, J., & Moley, K. (2010). Abnormal oocytes and persistent growth abnormalities. *Endocrinology*, 151, 4039–4046.
- Kadokawa, H., Blache, D., & Martin, G. B. (2006). Plasma leptin concentration correlate with luteinizing hormone secretion in early postpartum Holstein cows. *J Dairy Sci*, 89, 3020–3027.
- Kendrick, K. W., Bailey, T. L., Ahmadzadeh, A., Bethard, R. E., Irby, H. M., Johnson, D. W., ... Gwazdauskas, F. C. (1997). Effects of energy balance on hormonal patterns and recovered oocytes of lactating cows. *J Dairy Sci*, 80(1), 151.
- Kolver, E. S. & Muller L. D. (1998) Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J Dairy Sci* 81, 1403-1411.

- Landaeta, H., Giangreco, M., Meléndez, P., Bartolomé, J., Bennet, F., Rae, D., ... Archbald, L. (2004). Effect of biostimulation on uterine involution, early ovarian activity and first postpartum estrous cycle in beef cows. *Theriogenology*, 61, 1521–1532.
- Leroy, J., Vanholder, T., Mateusen, B., Christophe, A., Opsomer, G., De-kruif, A., ... Van-Soom, A. (2004). Metabolic changes in follicular fluid of the dominant follicle in high-yielding dairy cows early postpartum. *Reproduction*, 62, 1131–1143.
- Lima, M. L. P., Berchielli, T. T., & Nogueira, J. R. (2001). Estimativa do consumo voluntario do capim-tanzania (*Panicum maximum*, Jacq. cv. Tanzania) por vacas em lactação sob pastejo rotacionado. *Rev. Bras. Zootec*, 30, 1919–1924.
- Liu, X., Dai, Q., & Rawlings, N. (2007). Ultrasonographic image attributes of non-ovulatory follicles and follicles with different luteal outcomes in gonadotropin-releasing hormone (GnRH)-treated anestrous ewes. *Theriogenology*, 67, 957–969.
- Loosli, J., & Guedes, A. (1976). Problemas de nutrição mineral relacionados aos climas tropicais. In *Simpósio Latino-Americano sobre Pesquisa em Nutrição Mineral de Ruminantes e Pastagens* (pp. 1–9). Belo Horizonte: UFMG/EV.
- Lucy, M. C., Beck, J., Staples, C. R., Head, H. H., De-La-Sota, R. L., & Thatcher, W. W. (1992). Follicular dynamics, plasma metabolites, hormones and insulin-like growth factor I (IGF-I) in lactating cows with positive or negative energy balance during the preovulatory period. *Reprod Nutr Dev*, 32, 331–341.
- Lucy, M., Staples, C., Michel, F., & Thatcher, W. (1991). Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *J Dairy Sci*, 74, 473–482.
- Lucy, M. C., Staples, C. R., Thatcher, W. W., Erickson, P. S., Cleale, R. M., Firkins, J. L., Clark, J. H., Murphy, M. R., Brodie, B. O. (1992b) Influence of diet composition, dry matter intake, milk production and energy balance on time postpartum ovulation and fertility in dairy cows. *Anim Prod*. 54: 323-331.
- Macedo, R., Venturin, N., & Filho, A. (2000). Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. *Inf. Agropec.*, 202, 93–98.

- MAFF. (1984). Energy allowances and feeding systems for ruminants. London, England.
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Rev Col Cienc Pec*, 16(1), p.8.
- Mahecha, L., Arroyave, J., & Monsalve, M. (2001). Evaluación de la ceba de novillos Cebú en sistemas silvopastoriles de *Eucalyptus tereticornis* y *Panicum maximum*, en la Reforestadora San Sebastián: I. Época seca. In VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias. Universidad de Antioquia.
- Marcondes, M., Valadares-Filho, S., Oliveira, I., & Al, E. (2010). Requerimientos de proteína de animais Nelore puros e cruzados com as raças Angus e Simental. *Rev. Bras. Zootec*, submetid.
- Marks, J. (1975). A guide to the vitamins: Their role in health and disease (pp. 1–208). Lancaster: MTP.
- Martínez, M., Adams, G., Kastelic, J., Bergfelt, D., & Mapletoft, R. (2000). Induction of follicular wave emergence for estrus synchronization and artificial insemination in heifers. *Theriogenology*, 54, 757–769.
- Mazerbourg, S., Overgaard, M., Oxvig, C., Chritiansen, M., Conover, C., Laurendeau, I., ... Monget, P. (2001). Pregnancy-associated plasma rotein-A (PAPP-A) in ovine, bovine, porcine and equine ovarian follicles: involvement in IGF binding protein - 4 proteolytic degradation and mRNA expression during follicular development. *Endocrinology*, 142, 5243–5253.
- McDonald, P., Edwards, R., & Greenhalgh, J. (1993). *Nutrición Animal* (4.ed ed., pp. 1–571). Zaragoza: Acribia.
- McDowell, L. (2002). Recent advances in minerals and vitamins on nutrition of lactating cows. *Pak. J. Nutr*, 1, 8–19.
- McGuire, M., Vicini, J., Bauman, D., & Veenhuizen, J. (1992). Insuline-like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *J Anim Sci*, 70, 2001–2010.

- McNamara, S., Murphy, J. J., Rath, M., & O'Mara, F. P. (2003). Effects of different transition diets on energy balance, blood metabolites and reproductive performance in dairy cows. *Livestock Production Science*, 84(3), 195–206. doi:10.1016/S0301-6226(03)00093-9
- Meduri, G., Bachelot, A., Cocca, M., Vasseur, C., Rodien, P., Kuttan, F., ... Misrahi, M. (2008). Molecular pathology of the FSH receptor: New insights into FSH physiology. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 282(1-2), 130–142.
- Mertens, D. R. (1992). Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In *Simpósio Internacional de Ruminantes* (pp. 188–219). Lavras: Lavras, UFLA.
- Mihm, M., Austin, E., Good, T., Ireland, J., Knight, P., Roche, J., & Iteland, J. (2000). Identification of potential intrafollicular factors involved in selection of dominant follicles in heifers. *Biol Reprod*, 63, 811–819.
- Miner, J. L. (1992). Recent advances in the central control of intake in ruminants. *J Anim Sci*, 70, 1283–1289.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2013). Informe de Resultados Producción de Leche.
- Montaño, E., & Ruiz-Cortés, Z. (2005). ¿ Por qué no ovulan los primeros folículos dominantes de las vacas cebú posparto en el trópico colombiano? *Rev Col Cienc Pec*, 18(2), 127–135.
- Montiel, F., & Ahuja, C. (2005). Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrous in cattle. *Anim Reprod Sci*, 85, 1–26.
- Moran, J. (2005). *Tropical Dairy Farming. Feeding Management for Small Holder Dairy Farmers in Humid Tropics* (p. 313). Australia: Landlinks Press.
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Developmnet*, 15(10).
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261, 1654–1663.

- Murray, R., Granner, D., & Mayes, P. (2003). Harper's illustrated biochemistry. (26.ed ed., pp. 1–693). New York: McGraw Hill.
- Navarrete, S. (1995). Análisis de la productividad de diferentes cruzamientos en doble propósito. Experiencia en la costa atlántica. In Seminario internacional "Estrategias del mejoramiento genético en la producción bovina tropical" (pp. 165–167). Medellín, Colombia.
- Nett, T., Cermak, D., Branden, T., Manns, J., & Niswender, G. (1988). Pituitary receptors for GnRH and estradiol and pituitary content of gonadotropins in beef cows. II. Changes during the postpartum period. *Dom. Anim. Endoc.*, 5, 81–89.
- Nóbrega-deFaria, B. (2009). Dietas para vacas em período de transição. In *Alimentação de Gado de Leite* (pp. 1–418). Belo Horizonte: FEPMVZ.
- Nolan, R., O'Callaghan, D., Duby, R. T., Lonergan, P., & Boland, M. P. (1998). The influence of short-term nutrient changes on follicle growth and embryo production following superovulation in beef heifers. *Theriogenology*, 50, 1263–1274.
- NRC. (1981). *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms* (Second Rev.). Washington D.C: Natl. Academies Press.
- NRC. (1989). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (6th rev. e.). Washington D.C: National Academy Press.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. (National Academy Press, Ed.) (p. 381). Washington, DC.
- Othman, A., Soto, M., Prine, G., & Ocumpaugh, W. (1985). Forage productivity of *Leucaena* in humid tropics. *Soil Crop Sci*, 44, 118.
- Overton, T., Drackley, J., Douglas, N., Emmert, L., Clark, J. (1998) Hepatic gluconeogenesis and whole body protein metabolism of periparturient dairy cows was affected by source of energy intake of prepartum diet. *J Dairy Sci*. 81: 295.

- Paciullo, D., Morenz, M., & Carvalho, C. (2006). Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em condições de sombreamento por árvores ou a sol pleno. In Reuniao anual da Saociedade Brasileira de Zootecnia.
- Parr, R. A., Davis, I. F., Miles, M. A., & Squires, T. J. (1993). Feed intake affects metabolic clearance rate of progesterone in sheep. *Res. Vet. Sci.*, 55, 306–310.
- Pérez, C., Rodríguez, I., España, F., Hidalgo, M., Dorado, J., & Sanz, J. (2002). Utilidad del perfil de progesterona plasmática y ecográfica en el diagnóstico de quistes ováricos en vacas repetidoras de celos. *Rev Col Cienc Pec*, 15(1), 51–62.
- Pezo, D., & Ibrahim, M. (1998). *Sistemas Silvopastoriles. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal No. 2.* Centro Agronómico Tropical de Investigación Y Enseñanza CATIE.
- Prieto, E. (2001). *Edad y Peso al Inicio de la Pubertad y Seguimiento de los Tres Primeros Ciclos Estrales en Novillas.* Tesis MSc en salud y Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá.
- Rezende-Martins, R., Frías-Castro, G. de, Gonçalves, L., & Sales-Ferreira, P. (2009). Vitaminas na nutrição de bovinos de leite. In *Alimentação de Gado de Leite* (pp. 345–394). Belo Horizonte: FEPMVZ.
- Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Ayres, H., Greco, L. F., Bisinotto, R. S., Favoreto, M., ... Santos, J. (2011). Effect of postpartum diseases on reproduction of grazing dairy cows. *J Dairy Sci*, 94((E- Suppl 1):63), abstract.
- Robinson, J. (1996). Nutrition and Reproduction. *Anim Reprod Sci*, 42, 25–34.
- Rodríguez-Cuello, E. (2005). Análisis productivo y reproductivo en el sistema doble propósito para vacas con dos grupos raciales y dos edades diferentes al primer parto en la granja Santiago, Tolú-Sucre. Universidad de Sucre.
- Roseler, D. K., Ferguson, J. D., Sniffen, C. J., & Herrema, J. (1993). Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J Dairy Sci*, 80, 1315–1328.

- Ruiz-Cortéz, Z. T., Martel-Kenes, Y., Gevry, N. Y., Downey, B. R., & Palin, M. F. (2003). Biphasic effects of leptin in porcine granulosa cells. *Biol Reprod*, 68, 789–796.
- Ruiz-Cortéz, Z. T., & Olivera-Angel, M. (1999). Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Anim Reprod Sci*, 54, 211.
- Salgado, R., Alvarez, J., Bertei, M., González, M., & Torregoza, L. (2003). Efecto de la época del parto y del sistema en amamantamiento sobre la eficiencia reproductiva de vacas del sistema doble propósito. *Revista MVZ-Córdoba*, 8(2), 320–328.
- Santos, F. A. P., & Juchem, S. O. (2001). Sistemas de produção de leite à base de forrageiras tropicais. In *Sistemas de Produção de Leite* (pp. 22–36). Passo Fundo, RS: Anais Passo Fundo: Sist. Prod. Leite.
- Santos, J. (2008). Nutrition and Reproduction in Dairy Cattle. In *Tri-State Dairy Nutrition Conference* (p. 12).
- Santos, J., Bilby, T., Thatcher, W., Staples, C., & Silvestre, F. (2008). Long chain fatty acids of diet as factors influencing reproduction in cattle. *Reprod. Dom. Anim.*, 43(Suppl. 2), 23–30.
- Santos, J. (2001). Dietary Ingredients and Nutritional Management Impact Fertility. In *36th Pacific Northwest Animal Nutrition Conference* (pp. 189–219). Boise, ID.
- Santos, J., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Staples, C. R., & Thatcher, W. W. (2010). Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. *Soc Reprod Fertil Suppl*, 67, 387–403.
- Schillo, K. K. (1992). Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *J Anim Sci*, 70, 1271–1282.
- Schneider, J. E. (2004). Energy balance and reproduction. *Physiol Behav*, 81, 289–317.
- Seal, C., & Reynolds, C. (1993). Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutr. Res. Rev.*, 6, 185–208.

- Senger, P. (2003). Pathways to pregnancy and parturition (2.ed ed., pp. 1–373). Pullman, Washington: Current Conceptions, Inc.
- Short, R. E., Bellows, R. A., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G., & Custer, E. E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *J Anim Sci*, 60, 799–816.
- Smith, G. D., Jackson, L. M., & Foster, D. L. (2002). Leptin regulation of reproductive function and fertility. *Theriogenology*, 57, 66–73.
- Soares, J. P. G., Salman, A. K. D., & Berchielle, T. T. (2001). Predição do consumo voluntário do capim-tanzania (*Panicum maximum*, J. cv. Tanzania) sob pastejo, por vacas em lactação, a partir das características de degradação. *Rev. Bras. Zootec*, 30, 2176–2182.
- Sousa, B. M. (2006). Consumo e ambiente ruminal de vacas Holandês-Zebu em lactação sob pastejo de *Brachiaria* spp. suplementadas com diferentes quantidades de concentrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Spicer, L. J., & Echternkamp, S. E. (1995). The ovarian insulin and insulin-like growth factor system with an emphasis on domestic animals. *Dom. Anim. Endoc.*, 12, 223–245.
- Swaisgood, H. (1993). Review and update of casein chemistry. *J Dairy Sci*, 76, 3054–3061.
- Tucker, H. (1985). Endocrine and neural control of mammary gland. In Larson, B.L. Lactation. (pp. 39–79). The Iowa State University Press.
- Ulyatt, M. J., & Waghorn, G. C. (1993) Limitations to high levels of dairy production from New Zealand pastures. In Improving the quality and intake of pasture based diets for lactating dairy cows. pp 11-32. [NJ Edwards and WJ Parker, editors]. Palmerston North, NZ. Department of Agriculture and Horticulture Systems Management, Massey University.
- Van Soest P J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. (2 ed.). New York: Cornell University Press.

- Van-Houten, M., Posner, B. I., Kopriwa, B. M., & Brawer, J. R. (1979). Insulin-binding sites in the rat brain: in vivo localization to the circumventricular organs by quantitative radiography. *Endocrinology*, 105, 666.
- Vasconcelos, J. L. M., Kimberly, K., Tsai, S. J., Wechsler, F. S., & Wiltbank, M. C. (1998). Relationship between feed intake and concentrations of progesterone in dairy cows. *J Dairy Sci*, 80(1), (Abstr.).
- Vazquez, O. P., & Smith, T. R. (2000). Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(10), 2301–9. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75117-4
- Veiga, J., & Veiga, D. (2000). Sistemas silvipastoris na Amazonia oriental. In *Simpósio Internacional Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul*. Juiz de Fora. Anais. Juiz de Fora: Embrapa/CNPGL.
- Villa-Godoy, A., Hughes, T. L., Emery, R. S., Chaplin, T. L., & Fogwell, R. L. (1988). Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 71, 1063–1069.
- Wayne, R. (1984). The key to the Leucaena problem is in the rumen. *Rural Research CSIRO*, 123, 17–19.
- Webb, R., Garnsworthy, P., Gong, J., & Armstrong, D. (2004). Control of follicular growth: Local interactions and nutritional influences. *J Anim Sci*, 82, E63–E74.
- Webb, R., Gosden, R., Telfer, E., & Moor, R. (1999). Factors affecting folliculogenesis in ruminants. *Anim. Sci. (Pencaitland)*, 68, 257–284.
- Wilson, J. (1998). Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. *Tropical Grasslands*, 32, 209–220.
- Yang, L. (2009). Phenotypic relationship between milk protein percentage, reproductive performance and body condition score in Irish dairy cattle. Massey University. New Zealand.

Zambrano, J. C., & Echeverri, J. (2014). Genetic and environmental variance and covariance parameters for some reproductive traits of Holstein and Jersey cattle in Antioquia (Colombia). *R. Bras. Zootec*, 43(3), 132–139.

2 Capítulo. Reproductive Trends in Cebu Cattle grazing rice crop residues in Colombia Tropical dry forest.

Elisa Sierra-Montoya¹ , Rolando Barahona-Rosales¹ , Z. Tatiana Ruíz-Cortés²

¹National University of Colombia, Medellín, Colombia

²Faculty of Agrarian Sciences, Group of Research BIOGÉNESIS, University of Antioquia, Medellín, Colombia
Email: elsierramo@unal.edu.co

Received August 2013

Abstract

The objective of this study was to describe the trend of reproductive performance of primiparous and multiparous cows that grazed rice crop residues located in a Dry Tropical Forest of Colombia, taking into account the rainfall pattern of the place. In this study, 89 primiparous and 309 multiparous Cebu cattle records were analyzed. Mean, mean standard deviation for age at first calving and open days of primiparous Cebu cattle were 41.05 ± 1.85 months and 269.7 ± 36.25 days respectively. Confidence intervals (95%) for both reproductive parameters were 36.8 - 45.3 months and 202.7 - 336.6 days respectively. For multiparous Cebu cattle, the mean and mean standard deviation for open days and calving interval were 245.6 ± 36.8 days and 17.5 ± 0.9 months respectively. Confidence intervals 207.1 - 366.9 days and 13.9 - 20.7 months respectively. The mean rainfall since 1999 until 2012 was 1202 mm per year. The reproductive trend of the primiparous cattle showed an increasing behavior of age at first calving since 1999 until 2012, that can possibly be explained due to the decreasing behavior of the rainfall throughout the years, that can affect the nutritional value and offer of the grass that can grow in the borders of the crop, such as

Guinea and Star grass, and eventually affect the body condition and weight necessary to be ready for the first estrous. An inverse behavior of open days occurred, showing a decreased trend along the last years of research. This fact

could have happened due to the intensive use of the enriched rice straw with urea and molasses lately. Regarding to the reproductive trend of the multiparous cattle, there is no an evident pattern of it. Factors such as rainfall, temperature, nutrition and management should have affected it. Further research on this topic is needed.

Keywords: Rice Crop Residue; Reproduction; Cebú Herd.

2.1 Introduction

In 2012, Colombia (South American) has a bovine livestock of 20.432.140. The beef production orientation is represented by 49.6%, almost half of the herd, and it represents a very important economic income for the country.

Recent concern about the reproductive performance of these beef and double purpose cattle has increased scientific research. Free Trade Agreements between Colombia and other countries such as the US and EU and policies as the Strategic Arrangement of the Colombian Cattle Herd 2019, demand products as meat of great quality. Lately, accelerated demographic growth and urbanization (FAO, 2009) (Delgado, Ehui, & Cour, 1999) results in the raising of the per capita income, triggering the demand of meat and milk products. In order to achieve the goal of beef productivity, Colombian cattle reproductive performance must be enhanced taking into account nutrition and reproductive management as the main issues to improve. A considerable amount of beef cattle of the Colombian herd grazes low quality forages and crop residues, as rice and maize. These crop residues have severe deficiencies in protein, energy and minerals contents, which can affect the reproductive performance of beef cattle. This herd has specific reproductive performance due to nutrition, management and climatic variables, but published analyzed data are missing. Data from a rice producer farm that has Cebu (*Bos indicus*) cows located in Alvarado, Tolima, Colombia was collected between 1999 and 2012, with the main objective of describing the trend of reproductive development of primiparous and multiparous cows including rainfall patterns.

2.2 Materials and methods

Data were obtained from a beef herd of the Hacienda Calicanto, a 170 hectares farm located in the municipality of Alvarado, Tolima, Colombia, at 439 meters above the sea level, in a life zone of Dry Tropical Forest (Holdrige, 1967), The average temperature was 26°C, with a bimodal rainfall pattern during the year; almost 8 months had low pluviosity. Most of the land is dedicated to plant rice crops. When rice crops were harvested, Cebu cattle were introduced to graze the residues of the crop: the straw, with the main purpose of reducing the residue and also incorporating it to the soil through trampling, for almost 4 or 5 months. The animals were supplemented with ammoniated rice straw, which means that the bales of rice straw were enriched with a mixture of water, molasses and urea. The water was ad libitum consumed. The Cebu cattle estrous was visually detected by

observations of the sire with penis deviation, and registrated; 12 hrs later, artificial insemination was performed as the main reproductive event registered in the farm. Confirmation

of pregnancy was done by rectal palpation every 6 months. The cows give birth to calf in the rice field; calves were suckling until 7 or 8 months, when males were sold and females were retained to replace the old cows.

2.2.1 Evaluated variables on cows

Reproductive events from 1999 through 2012 of this Cebu cows were used, including primiparous (n = 89) and multiparous (n = 309) ones. Variables analysed such as the age at the first calving, open days and calving period were included to describe changes in reproductive performance of these cows grazing rice crop residues. Data were put into 2-year groups (1: 1999-2000, 2: 2001-2002, 3: 2003-2004, 4: 2005-2006, 5: 2007-2008, 6: 2009-2010, 7: 2011-2012). Rainfall data from 1999 through 2012, except 2005, were described as a bimodal. Bromatologic analysis was performed to amonificated rice Straw and rice straw to indicate the quality of the food consumed by animals..

2.3 Statistical Analysis

Data were analyzed using the software SPSS version 14.0. Descriptive statistic was performed. Mean and mean standard deviation were calculated to describe the reproductive performance of primiparous Cebu cattle (age at first calving and open days) and multiparous Cebu cattle with 2 and more calvings (open days and calving interval) within the period between 1999 and 2012; same analyses were performed for rainfall period variables. Confidence level was 95% ($p \leq 0.05$).

2.4 Results

The average reproductive performance of the primiparous Cebu cattle related to age at first calving is 41.05 ± 1.8 months and open days mean is 269.7 ± 36.2 . Regarding to the multiparous Cebu cattle, (2 or more parturitions), the open days average is 245.6 ± 36.84 , and the calving interval average is 17.5 ± 0.9 months. Figure 1 depicts the age at first calving trend of the primiparous Cebu cattle. There is a similar behavior from 1999-2000 until 2009-2010, with an average age of 40.5 months at first calving, but this age increases from 39.9 months to 45 months from 2009-2010 to 2011-2012. Open days have a completely different behavior starting with an average of 163 days (5.4 months) that increases until 2001-2002. Afterward this reproductive parameter keeps a steady behavior until 2007-2008 when it increases to 390.58 days in 2009-2010. Subsequently it decreases to 170.75 days in 2011-2012. The confidence interval is 36.8 - 45.3 months of age at

first calving, and 202.7 - 336.6 of open days.

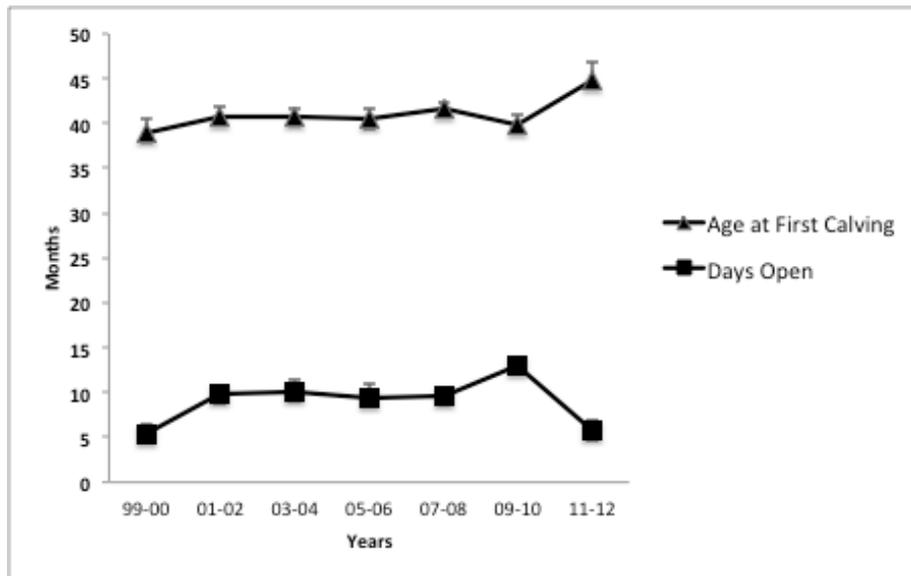


Figure 2.1
Age at first calving and open days in primiparous Cebu cows (n = 89) from 1999 to 2012 at Hacienda Calicanto, Colombia-South America.

Figure 2 represents the important variation of both open days and calving interval of multiparous Cebu cows from 1999 to 2012. The confidence interval is 207.2 - 366.9 open days and 13.9 - 20.7 months of calving interval.

Figure 3 shows the average rainfall between each two-year period since 1999 until 2012.

Table 1 shows the bromatologic quality of the straw consumed by the animals on Hacienda Calicanto. The crude protein of the rice straw supplies the minimum value of protein for the ruminal bacteria maintenance, which means that the probability for these bacteria to grow in ruminal population is low, so the Microbial Protein passing to the posterior digestive tract of the ruminant is eventually minimal.

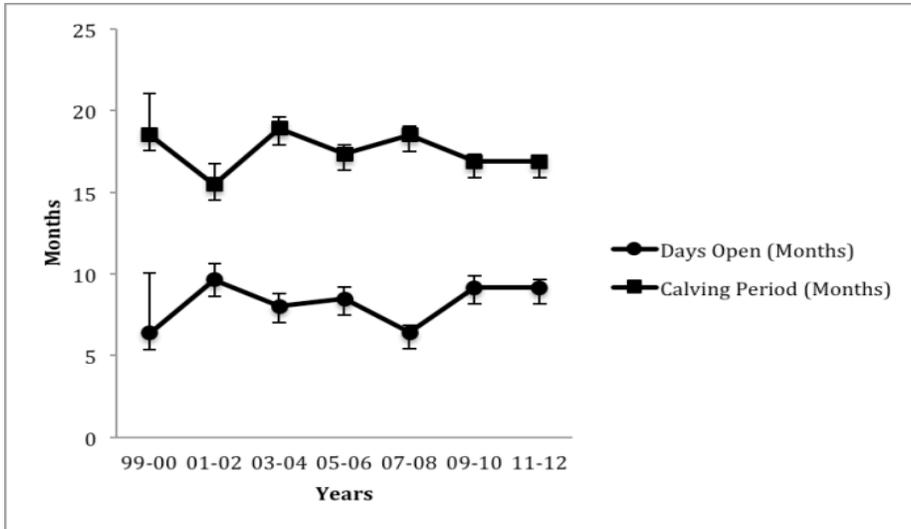


Figure 2.2
Open days (months) and calving interval (months) of multiparous Cebu cows (n = 309) from 1999 to 2012 at Hacienda Calicanto, Colombia-South America.

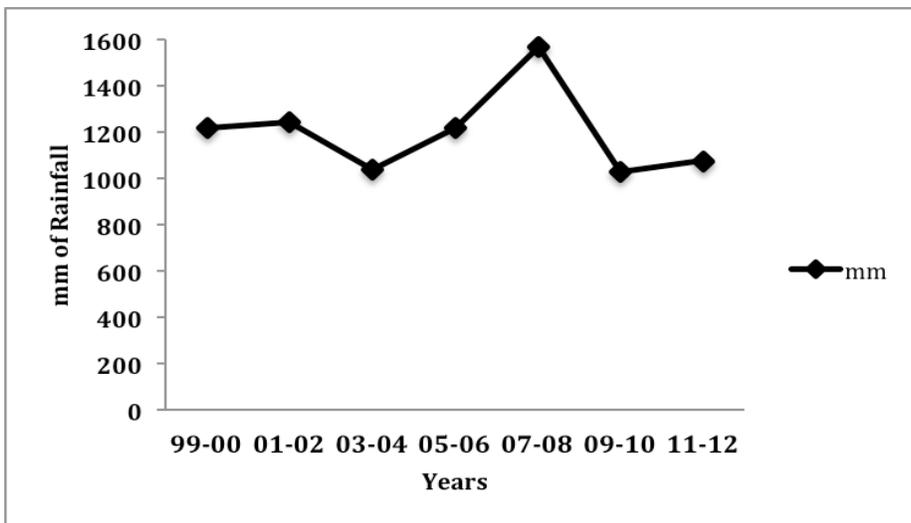


Figure 2.3
Average rainfall for 2-year-period from 1999 until 2012 at Hacienda Calicanto, Colombia-South America.

Table 2.1
 Bromatologic analysis of rice straw and amonificated rice straw consumed by Cebu cows (398) at Hacienda Calicanto, Colombia-South America.

	CP	NDF	ADF	EE	CALORIFIC VALUE	ASH	CA++	P	Fe	Mg	Mn	K	Na	Zn
	%	%	%	%	Cal/g	%	%	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg
Rice Straw	7.5	69.1	44.3	1.06	3891	15.86	0.15	0.08	103	0.13	257	1.81	712	21
Rice Straw	12	64	38.6	1.85	3841	17.25	0.42	0.04	48	0.16	177	1.27	42	11

2.5 Discussion

Reproductive trend of the primiparous Cebu herd of Hacienda Calicanto were similar to those published in 1996; authors reported a mean age at first calving of 38.2 months, (García, Maldonado-Estrada, & López, 2003; Haile-Mariam & Makonnen, 1996). Cattle Federation breeders in Colombia (FEDEGAN, 2006), stated that for beef production system in Colombia, the age at first calving was 42 months. Similar results were obtained recently (Khan & Chowdhury, 2011), with a mean of 4 months of calving interval for Sahiwal x Cebu cattle grazing rice crop residues.

Regarding to the multiparous Cebu cattle, similar results with 14, 6 months period of calving interval were reported in Sahiwal cattle (Rehman & Khan, 2012); in multiparous Colombian cattle (FEDEGAN, 2006) 18.3 months and 14.8 months in Cebu cattle grazing *Bothriochloa pertusa* and *Dichantium aristatum* in North Colombian Tropical Dry Forest (García et al., 2003). In Sahiwal x Cebu multiparous cows grazing rice straw 209 open days average was reported (Khan & Chowdhury, 2011), a similar behavior of the performance of the Cebu cows in this research. Factors such as suckling stimulus and low nutritional status of the animal (limited dietary energy and protein intake) can explain the long period of open days (Rutter & Randel, 1984; Wiltbank, 1979). A similar inter-calving period of Cebu cattle was reported

many years ago, where Cebu cows had 19 months of the calving interval (Luktuke & Subramanian, 1961). The primiparous Cebu cattle showed a steady reproductive performance until 2009-2010, where this parameter decreased severely. Possibly, this effect could be due to lowest rainfall during this 2-year-period that could have affected the confort and welfare of the animals. It could have also affected the pasture availability and quality as well as the consumption behavior of the animals, because at low rainfall, high temperatures and radiation are frequently experimented in this life zone. Both high a low rainfall can affect the reproductive performance of the Cebu cattle.

A similar issue could have happened to the multiparous cattle, who in 2004-2005 and 2007-2008 presented the highest calving period of all, possibly because of the lowest rainfall during these years.

2.6 Conclusions

The reproductive trend of the primiparous cattle showed an increasing behavior of age at first calving since 1999 until 2012, that can possibly be explained due to the decreasing behavior of the rainfall throughout the years, that can affect the nutritional value and offer of the grass that can grow in the borders of the crop, such as Guinea and Star grass, and eventually affect the body condition and weight necessary to be ready for the first conception. An inverse behavior of open days occurred, showing a decreased trend along the last years of research. This fact could have happened due to the intensive use of the enriched rice straw with urea and molasses lately. Concerning the reproductive trend of the multiparous cattle, there is no an evident pattern, which means that factors such as rainfall, temperature, nutrition and management should affect it. Alternative ways of nutrition of these cows that graze rice crop residues, such as planting fodder trees in the borders of the crop, as *Leucaena*, *Gliricidum* sp. are proposed. Further research on this topic has to be done.

2.7 Acknowledgements

The authors acknowledge the owner of the farm, Dr. Alberto Mejía Fortich, who facilitated the research in Hacienda Calicanto, Mr. Jorge Eliecer Robayo, the administrator and the cowboys Jorge, Dionicio and Angel María, who helped during the investigation. *Proyect: "Investigaciones para el incremento de la productividad silvopastoril y los servicios ambientales en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible" financiado por COLCIENCIAS. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. Universidad Nacional de Colombia—Sede Medellín, Colombia. Grupo de Investigación BIOGÉNESIS, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

2.8 References

Delgado, C., Ehui, S., & Cour, C. (1999). Live stock to 2020. The Next Food Revolution.

FAO (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2009 (p. 184). ROMA.

FEDEGAN (2006). La vision de Corpoica para el mejoramiento del hato bovino nacional (p. 33).

García, G. A., Maldonado-Estrada, J. G., & López, J. G. (2003). Caracterización productiva y reproductiva de las explotaciones ganaderas del bajo Cauca y el litoral Atlántico Antioqueños. II. Comportamiento de cuatro grupos raciales Bos Indicus en un sistema de bosque seco tropical (bs-T). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 16, 117-126.

Haile-Mariam, M., & Makonnen, G. (1996). Reproductive performance of zebu, Friesian, and Friesian-zebu crosses. Tropical Agriculture, 73, 142-147.

Khan, M. A. S., & Chowdhury, M. A. R. (2011). Urea Molasses Blocks to improve milk production and reproductive performance of crossbred dairy cattle under smallholder farm condiction in Bangladesh (pp. 123-124). Bangladesh.

Luktuke, S. N., & Subramanian, P. (1961). Studies on certain aspects of the oestrus phenomenon in Haryana cattle. Journal of Reproduction and Fertility, 2, 199-200.

Rehman, Z., & Khan, M. (2012). Environmental factors affecting performance traits of sahiwal cattle in Pakistan. Pakistan Veterinary Journal, 32, 229-233.

Rutter, L. M., & Randel, R. D. (1984). Post-partum nutrient intake and body condition: Effect on pituitary function and onset of oestrus in beef cattle. Journal of Animal Science, 58, 265.

Wiltbank, J. N. (1979). Research needs in beef cattle production. Journal of Animal Science, 31, 755-762.

3 Capítulo 3. Conducta reproductiva de vacas lecheras cruzadas pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos del bosque seco tropical Colombiano

Sierra-Montoya, E; Ruiz-Cortés, T*; Chará, J.**; Barahona-Rosales, R.,
Suárez J.F.***

Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Calle 59ª # 63-20, Medellín, Colombia. elsierramo@unal.edu.co. * Grupo de Investigación Biogénesis, Universidad de Antioquia. ** Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. ***Hacienda Lucerna S. A.

*Corresponding author: elsierramo@unal.edu.co

Resumen

En las últimas décadas se ha reportado que la eficiencia reproductiva de vacas de alta producción lechera tiende a reducir, lo que obedece, en parte, a los altos requerimientos nutricionales para soportar la producción de leche en la lactancia temprana, la cual es más aguda en condiciones tropicales por un déficit de energía y proteína en la dieta. Para determinar la eficiencia reproductiva y la productividad de vacas lecheras de raza Lucerna pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos compuestos por *Cynodon plectostachyus* y *Leucaena leucocephala*, se evaluó su comportamiento reproductivo (días abiertos, servicios por concepción e intervalo entre partos) y productivo (días en lactancia, producción diaria y total) desde el año 2004 hasta el 2010 en una finca ubicada en el Valle del Cauca. No hubo diferencia del comportamiento reproductivo durante los años evaluados ($p < 0.05$). Con respecto a la producción de leche, no se presentó diferencia significativa en la duración de la lactancia ($p < 0.05$), aunque la producción total de leche por lactancia (litros) fue mayor en el año 2004 (3145) y menor en el año 2009 (2301) ($p < 0.05$). Con relación a la producción de leche (kg por día), se encontró que fue mayor en los años 2004 (9,94), 2005 (9,14) y 2006 (9,01), frente al año 2009 (7,27) que reportó la menor productividad diaria ($p < 0.05$). Aunque no hubo variación en la eficiencia reproductiva de las vacas Lucerna, la producción de leche pudo verse afectada por factores como las

condiciones climáticas (humedad, temperatura y pluviosidad), la oferta de biomasa forrajera, el número de animales y la época.

Palabras clave: Eficiencia reproductiva, ganado criollo, *Leucaena*, producción de leche, sistemas silvopastoriles intensivos.

Reproductive behavior of crossbred dairy cows grazing in intensive silvopastoral systems in the Colombian tropical dry forest

Abstract

In recent decades it has been reported that the reproductive efficiency of high-production dairy cows tends to decrease. This reproductive failure is influenced, in part, by the high nutritional requirements to support milk production in early lactation, a deficit that becomes more acute in tropical conditions due to a deficit in energy and protein in the diet. To determine the reproductive efficiency and productivity of Lucerna breed dairy cows grazing in intensive silvopastoral systems composed by *Cynodon plectostachyus* and *Leucaena leucocephala*, their reproductive (days open, services per conception and calving intervals) and productive (days in milk, daily and total milk production) behavior from 2004 to 2010 on farms in the Valle del Cauca. Comparisons indicate that there was no difference in reproductive behavior during the years evaluated ($p < 0.05$). With regard to milk production, no significant difference occurred in the duration of lactations ($p < 0.05$), although it was found that the total milk production per lactation (liters) was higher in 2004 (3145) and lower in 2009 (2301) ($p < 0.05$). In relation to milk yield (kg per day) greater averages were observed in 2004 (9.94), 2005 (9.14) and 2006 (9.01) compared to 2009 (7.27) which reported lower daily productivity ($p < 0.05$). It is concluded that although there was no variation in the reproductive efficiency of Lucerne cows, milk production could be affected by factors such as weather conditions (humidity, temperature and rainfall), the supply of forage biomass, number of animals and season.

Key Words: Creole cattle, intensive silvopastoral system (ISS), *Leucaena*, milk production, reproductive efficiency.

3.1 Introducción

Al momento del parto, los requerimientos nutricionales de la vaca incrementan de manera inmediata por la alta producción de leche en la lactancia temprana, demandando una alimentación balanceada que supla todas sus necesidades (McNamara et al., 2003) insulín and insulín-like growth factor-I (IGF-I. Sumado a esta alta exigencia de nutrientes, acontece una disminución de aproximadamente 30% en el consumo de materia seca alrededor de 3 semanas antes del parto (Dann et al., 1999)), la que a medida que se acerca este evento reproductivo

disminuye cada vez más por alteraciones del balance hormonal (McNamara et al., 2003). Estas situaciones, sumadas a la baja calidad composicional y oferta de la biomasa forrajera comúnmente encontradas en el trópico, inducen en la vaca a un estado de balance energético negativo (Henaó et al., 2010; Galvis et al., 2005), en el que es necesaria la movilización de reservas corporales a partir de tejidos adiposos, con el fin de suplir los nutrientes necesarios para mantener la producción de leche (Henaó et al., 2010). Si este estado nutricional persiste, la involución uterina y el retorno a la actividad ovárica se retardan, y como consecuencia, se puede afectar el intervalo parto-primer ovulación, días abiertos y servicios por concepción y por ende disminuir las tasas de concepción (Galvis et al., 2005) y fertilidad de las vacas. Con respecto al ganado criollo colombiano, aunque puede presentar una capacidad productiva limitada, exhibe un comportamiento reproductivo que puede superar a las razas bovinas introducidas, debido a su alta adaptación a las condiciones del país. A su vez, vacas cruzadas ubicadas en el trópico (*Bos indicus* x *Bos taurus*), presentan menores requerimientos y partición de nutrientes frente a las vacas de alta producción lechera (Aguilar-Pérez et al., 2014), con lo que se puede suponer que su desempeño reproductivo será superior frente a vacas en las que el mejoramiento genético busca incrementar la producción de leche. En la búsqueda de rentabilidad y sostenibilidad de la productividad del hato bovino sin atentar contra el medio ambiente, los sistemas silvopastoriles intensivos (SPPi) han surgido como alternativas muy promisorias de producción ganadera (Barahona et al., 2014; Cuartas et al., 2014; Murgueitio et al., 2014). Con el fin de determinar la productividad de un hato de ganado criollo colombiano, se evaluó el desempeño productivo y la eficiencia reproductiva durante el período comprendido entre los años 2004 y 2010, cuando los animales pastoreaban en un SSPi ubicado en condiciones de bosque seco tropical en Colombia.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Localización

El estudio se realizó en la Hacienda Lucerna, localizada en Bugalagrande, Valle del Cauca, Colombia (3° Latitud Norte, 76° Longitud Oeste), a 960 metros sobre el nivel del mar. La Hacienda se encuentra ubicada en bosque seco tropical (Holdridge, 1978) con condiciones de humedad relativa de 60-80%, una temperatura entre 19-29°C y una pluviosidad media anual de 1200 mm.

3.2.2 Animales y alimentación

Las unidades experimentales eran hembras bovinas de raza Lucerna que hubieran registrado sus partos en la Hacienda Lucerna desde el año 2004 hasta el año 2010. Se analizaron todas las lactancias incluidas. Dichas vacas pastoreaban en un SSPi compuesto por la forrajera herbácea *Cynodon*

plectostachyus y la leguminosa arbustiva *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham establecida en alta densidad (7000-10000 arbustos por hectárea). El SSPi incluía también especies arbóreas como *Prosopis juliflora*, dispersas en las franjas diarias de pastoreo, cuya área oscilaba entre 2000-2300 m² divididas por cerca eléctrica y con presencia de agua potable ofrecida en bebederos móviles. Los períodos de ocupación de las franjas oscilan entre 1 y 2 días y la duración del descanso del mismo era de 37-38 días.

La alimentación de estas vacas estuvo compuesta por los forrajes de la herbácea y arbustiva ofrecidos en las franjas del SSPi y suplementos ofrecidos durante el ordeño como concentrado comercial, residuos ricos en energía de empresas alimenticias y cachaza de caña de azúcar como subproducto de la elaboración de panela en la Hacienda.

3.2.3 Análisis productivo y reproductivo

Una vez se recopilaron los datos de las vacas desde 2004 hasta 2010, se determinó que las variables reproductivas a ser incluidas en los análisis fueran días abiertos, servicios por concepción e intervalo entre partos. Estos parámetros fueron registrados a través de observación diaria del hato recién parido en el lote de ordeño de alta producción, al momento del ordeño en la mañana y en la tarde. Igualmente, si algún servicio observado del toro en las vacas era presenciado en la movilización del lote desde la franja de SSPi hacia las instalaciones de ordeño, era oportunamente registrado. Con respecto a la producción de leche, se incluyeron en el estudio los días en lactancia de cada animal estudiado, su producción diaria y total durante la lactancia. La medición de la producción de leche se realizó en el ordeño am y pm, con la utilización del vaso medidor del ordeño mecánico que toma muestras de la leche durante todo el proceso de ordeño. Al final del ordeño, se registró el volumen de producción de cada vaca.

3.3 Análisis estadístico

Se realizó un estudio retrospectivo de datos recolectados desde el año 2004 hasta el año 2010 en vacas de producción de leche de la raza Lucerna. A dichos datos se les realizó un análisis descriptivo (Media y SEM). Igualmente, se analizó la variación de la eficiencia reproductiva y la producción de leche de las vacas por año, a través de un ANOVA multivariado (PROC GLM). Las diferencias entre medias se determinaron a través de la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

3.4 Resultados y discusión

El número de hembras bovinas incluidas en el presente estudio se muestran en la

Tabla 1. En la Tabla 1, es evidente que en los primeros años de este ejercicio existió un n mayor que en los últimos años. Este hecho puede ser afectar las comparaciones realizadas entre años, debido a que los resultados de los últimos dos años fueron obtenidos de una muestra pequeña. Con relación al comportamiento reproductivo registrado desde 2004 hasta 2010 en vacas en producción de leche en la Hacienda Lucerna (Tabla 2), no se observaron diferencias entre los años evaluados ($p < 0.05$). Los DA oscilaron alrededor de 162.2 días, el número de servicios por concepción en promedio fue de 1.6 y el intervalo entre partos fue de 13.1 meses o 395.5 días.

Tabla 3.1 Población analizada (n) durante el estudio retrospectivo en la Hacienda Lucerna – 2004 a 2010 para cada parámetro estudiado.

	DA	SC	IEP	DL	PD	PT
2004	163	165	117	185	169	185
2005	177	182	98	173	173	173
2006	99	126	50	97	97	97
2007	73	79	39	69	69	69
2008	31	46	6	28	28	28
2009	7	12	5	5	5	5
2010	5	6	2	4	4	4

DA: días abiertos; SC: servicios por concepción; IEP: intervalo entre partos; DL: días en lactancia; PD: producción diaria de leche y PT: producción total de leche por lactancia.

Valores similares de DA e IEP han sido reportados para otras razas criollas colombianas como Caqueteño (175 y 455 días), Costeño con cuernos (166 y 446 días), Romosinuano (150 y 430 días), que se destacan por presentar una buena fertilidad (Martínez, 1999) y una vida reproductiva mas longeva debido a que alcanzan a tener hasta 12 y 15 terneros (Martínez, 2006). Sin embargo, este comportamiento es superior a lo reportado para el ganado Holstein en Colombia, reconocido por hacer gran contribución a la producción lechera, que presenta en promedio 185 días abiertos, 513 días entre partos y 2.1 servicios por concepción (Fedegan, 2006). Frente al sistema doble propósito ubicado en bosque seco tropical Colombiano, el hato Lucerna presenta mayor eficiencia reproductiva, debido a los reportes mayores de 220.8 días abiertos y 501.8 días entre partos en la costa norte colombiana (Álvarez y Moreno, 2004) y 280 días abiertos y 550 días entre partos a nivel nacional (Fedegan, 2006). Se resalta el comportamiento de este ganado comparado con aquel dedicado a explotaciones bovinas destinadas a la producción de carne que utilizan residuos de cosechas de arroz que tiene 245.6 días abiertos y 525 días entre partos (Sierra-Montoya et al., 2013). Valores semejantes han sido reportados en ganado lechero (Gyr x Holstein) que pastorea SSPi en bosque seco tropical en Colombia, con 138 días abiertos y 422.4 días entre partos (Sierra-Montoya et al., in press a) Con respecto a la producción de leche, no se registró variación entre el número de días en producción de leche en la lactancia ($p < 0.05$), con una media de 300.5 días. La producción diaria de leche difirió entre años siendo mayor en los años 2004, 2005

y 2006, cuya producción fue mayor a la producción del año 2009 ($p < 0.05$). Finalmente, la producción total de leche en la lactancia fue estadísticamente diferente, registrándose la mayor producción en el año 2004 y la menor en el año 2009 ($p < 0.05$). Parámetros productivos inferiores se han reportado para ganados criollos colombianos como Velásquez (1400 lts de leche en 210 días de lactancia), Hartón del Valle (1424 lts de leche en 294 días de lactancia) y Costeño con Cuernos (1153 lts de leche en 264 días de lactancia) (Martínez, 1999). Se ha documentado que la raza Lucerna en condiciones de bosque seco tropical puede superar la producción de leche de la raza Holstein (Durán y Manrique, 2003).

Tabla 3.2 Comportamiento productivo y reproductivo de vacas lecheras en Hacienda Lucerna.

Año	DA	SC	IEP	DL	PD	PT
2004	165,2 a	2,3 a	402 a	313 a	9,9 a	3145,28 a
2005	170,6 a	1,98 a	402 a	314 a	9,1 a	2834,5 ab
2006	166,1 a	1,8 a	398 a	314 a	9,0 a	2820,8 ab
2007	150,2 a	2,3 a	383 a	299 a	8,8 ab	2690,3 ab
2008	176,5 a	2,7 a	402 a	301 a	8,6 ab	2554,5 ab
2009	147,1 a	1,6 a	436 a	318 a	7,2 b	2301 b
2010	161,2 a	1,5 a	400 a	267 a	8,6 ab	2363,5 ab

DA: días abiertos (días); SC: servicios por concepción (número); IEP: intervalo entre partos (días); DL: días en lactancia (días); PD: producción diaria de leche (litros/d); PT: producción total de leche (litros/lactancia).

Para destacar que esta raza criolla colombiana haya tenido este comportamiento reproductivo eficiente se debe mencionar la importancia que tienen los SSPi en la alimentación de las vacas que lo pastoreaban. Esta alternativa de producción ganadera incrementa la oferta de biomasa forrajera y los nutrientes contenidos a partir los estratos que presenta: herbácea, arbustiva y arbórea, brindando bienestar y confort a través de la sombra que aporta a los animales. Es necesario resaltar que el aporte protéico y energético desde los forrajes del SSPi a vacas F1 que pastoreaban dichos sistemas en bosque seco tropical colombiano era del 86% de la proteína y el 91% de la energía metabolizable. (Sierra-Montoya et al., in press b).

3.5 Conclusiones

El ganado criollo colombiano de raza Lucerna ubicado en bosque seco tropical de Colombia presenta una eficiencia reproductiva que se sostiene en el tiempo, pudiéndose atribuir al manejo alimenticio que recibe de SSPi en el que se ofrecen forrajeras herbáceas y leguminosas arbustivas. Debido a su adaptación a esta condición edafoclimática, se destaca su producción de leche superior frente a otras razas criollas y lecheras de Colombia, convirtiéndose en una explotación rentable y competitiva en el sector ganadero.

3.6 Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos a los propietarios de la Hacienda Lucerna que generosamente permitieron el presente estudio, al personal de la Fundación CIPAV por el apoyo logístico que permitió la ejecución de la investigación, y finalmente a COLCIENCIAS, que financió el proyecto “Investigaciones para el incremento de la productividad silvopastoril y los servicios ambientales en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible” (527-2011).

3.7 Referencias

Aguilar-Pérez, C. F., Ku-Vera, J., Magaña-Monforte, J. G. (2014). The use of dietary fats and concentrates to alleviate the negative energy balance in crossbred cows in early lactation. *Tro & Subtrop Agroecosist.* 17:155-159.

Álvarez, A., & Moreno, M. (2004). Análisis técnico-económico de una finca manejada bajo el sistema doble propósito en el municipio de San Antonio de Palmito, Sucre. Universidad de Sucre.

Durán, C. V., Manrique, L. 2003. Raza Lucerna. En: Razas criollas y colombianas puras. *Memori Convenio 135-01.* Santa Fé de Bogotá. P 126-128.

Barahona, R., Sánchez, M S., Murgueitio, E., Chará, J. 2014. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. *Revista Carta Fedegán* No. 140. Enero – Febrero de 2014. Bogotá, Colombia. p. 66-69.

Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Tarazona, A.M., Murgueitio, E., Chará, J.D., Ku. J. Solorio, F.J., Flores, M.X., Solorio, B., Barahona, R., 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 27(2), 76-94.

Dann, H. M., Varga, G. A., Putnam, D. E. (1999). Improving energy supply to late gestation and early postpartum dairy cows. *J Dairy Sci.* 82: 1765-1778.

Fedegan. (2006). La vision de Corpoica para el mejoramiento del hato bovino nacional (p. p.33).

Galvis, R. D., Múnera, E. A., Marín, A. M. (2005). Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Rev Col Cienc Pec.* Vol 18: 3.

Henao, G., Galviz, R., Cardona, L., & Castro, N. (2010). Relación entre Pérdida de Peso, Perfil Lipídico y Concentraciones Plasmáticas de Leptina en Vacas Cebú Primerizas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5595–5605.

Martínez, C.G. 1999. Censo y caracterización de los sistemas de producción del ganado criollo colombiano. *Memorias.* Santa Fé de Bogotá, D.C. Colombia. P 13-64.

Martínez, C.G. 2006. Los bovinos criollos y colombianos y su contribución competitiva y sustentable a la producción de carne. Memorias 1ª feria de ganado criollo y colombiano. Necesitamos los criollos. San Martín. 2006.

McNamara, S., Murphy, J. J., Rath, M., & O'Mara, F. P. (2003). Effects of different transition diets on energy balance, blood metabolites and reproductive performance in dairy cows. *Livestock Production Science*, 84(3), 195–206. doi:10.1016/S0301-6226(03)00093-9

Murgueitio Restrepo, E., Chará Orozco, J. D., Barahona Rosales, R., Cuartas Cardona, C. A., Naranjo Ramirez, J. F. 2014. Intensive silvopastoral systems (ISPS), mitigation and adaptation tool to climate change. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501 – 507.

Sierra-Montoya, E., Barahona-Rosales, R., Ruíz-Cortés, Z. T. 2013. Reproductive trends in Cebu cattle grazing rice crop residues in Colombian tropical dry forest. *Open Journal of Forestry*. Vol 3, No.4B, 7-9.

Sierra-Montoya, E., Barahona-Rosales, R., Ruíz-Cortés, Z. T. In press a. Reproductive behavior of crossbred dairy cows grazing in an intensive silvopastoral system in Colombian tropical dry forest.

Sierra-Montoya, E., Chará-Orozco, J. D., Barahona-Rosales, R. In press b. The nutritional balance of recently calved and early lactation dairy cows grazing in intensive silvopastoral systems under tropical dry forest of Colombia.

4 Conclusión general

La alimentación de grandes rumiantes (dedicados a la explotación de carne, leche y doble propósito) en Colombia se basa en la mayoría de los casos en pasturas nativas, las cuales presentan baja calidad composicional y su oferta durante el año puede oscilar según las condiciones climáticas, afectando la eficiencia reproductiva de los mismos. Estas deficiencias nutricionales conllevan a una baja rentabilidad de las explotaciones ganaderas en términos del producto por unidad de área por año, al tiempo que generan impactos al medio ambiente.

La necesidad de incrementar la producción de leche por unidad de área ha retomado un gran auge, debido a los tratados y acuerdos internacionales entre Colombia y otros países. En vista de esta necesidad, se deben replantear las estrategias de producción ganadera e implementar y adoptar aquellas que generen alta rentabilidad y menor efecto al medio ambiente. Para ayudar a solucionar esta situación, se ha propuesto el uso de los promisorios sistemas silvopastoriles intensivos, los cuales aumentan la oferta de biomasa forrajera, tienen menor afectación al medio ambiente y generan mayor productividad del hato ganadero.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar: 1) La composición química de los forrajes y suplementos que consume las vacas lecheras en Hacienda El Chaco 2) El consumo de materia seca y nutrientes en dos grupos de vacas lecheras: recién paridas y en lactancia temprana 3) El balance nutricional de las vacas cuando consumen forraje y suplementos y bajo el escenario de solo consumo de forraje del Sistema silvopastoril intensivo 4) Determinar la capacidad de producir forrajes en el sistema silvopastoril intensivo durante 8 meses de investigación. 5) Determinar la eficiencia reproductiva de dichas vacas y sus niveles de progesterona sérica en el período postparto. 6) Establecer la asociación entre el balance nutricional y las variables reproductivas de las vacas lecheras.

En términos generales el consumo de forrajes fue mayor en las vacas de lactancia temprana o que presentaron su primer servicio después de los 50 días postparto. Por ende, el consumo de nutrientes fue mayor. Este fenómeno acontece a raíz de la alta producción de leche que experimentan las vacas, pero paralelo a esto se encontró que su balance energético fue negativo. Estas vacas presentaron una menor eficiencia reproductiva frente a aquellas que tuvieron un balance nutricional positivo. Igualmente, se estableció que existe una correlación positiva entre el balance energético y protéico y los días abiertos y el intervalo entre partos. Con esto determinado, se puede afirmar que la nutrición de la vaca en el período postparto puede afectar su desempeño reproductivo y por consiguiente la rentabilidad de la empresa ganadera. De ahí que el manejo

nutricional es el aspecto más delicado a la hora de buscar productividad en el hato ganadero.

El manejo, alimentación y condiciones de confort que ofrece la hacienda beneficia el balance nutricional y comportamiento reproductivo de vacas en producción de leche durante el período postparto. Se reconoce que la energía es el nutriente limitante en la explotación de leche.

5 Recomendaciones

Es evidente que para determinar si el sistema silvopastoril intensivo tiene efecto a nivel reproductivo se necesitan medir otras variables que permitan dilucidar esto. Algunas de estas variables estarían incluidas en los objetivos que se proponen a continuación por desarrollar a futuro:

- Evaluar a nivel uterino (glándulas uterinas y pH) el efecto que tiene los niveles de inclusión de Leucaena utilizados en Colombia.
- Medir el nitrógeno uréico en leche o en sangre para determinar si existe un exceso de proteína en la dieta que lleve a afectar el desempeño reproductivo de las vacas.
- Monitorear la actividad ovárica en el período postparto para determinar que tan rápido es el despertar reproductivo de las vacas en sistemas silvopastoriles intensivos.
- Comparar el comportamiento reproductivo de vacas sin y con alimentación de forrajes del sistema silvopastoril intensivo.
- Profundizar en la evaluación del comportamiento reproductivo cuando las vacas consumen sistemas silvopastoriles intensivos y diferentes niveles de inclusión de energía en la dieta, para determinar el punto de mejor relación costo beneficio.
- Estimar económicamente las bondades reproductivas del manejo de ganado lechero bajo sistema silvopastoril intensivo.

Estas recomendaciones tienen como fin aumentar el conocimiento de los sistemas silvopastoriles y sus efectos a nivel reproductivo en el ganado lechero, con el fin de incrementar sus establecimientos y adopciones de forma masiva en Colombia, para lograr explotaciones ganaderas Colombianas mas productivas, rentables y competitivas.