

El mejoramiento genético y la producción de leche. La esencia de una realidad de producción animal

Genetic improvement in dairy cows. The essence of true animal production

Rómulo Campos Gaona*, Mauricio Vélez Terranova, Erika Hernández,
Katherine García Alegría, Raúl Molina Benavides, Hugo Sánchez Guerrero, Carlos Vicente Durán Castro,
Leonidas Giraldo Patiño.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal. Grupo de Investigación Conservación, Mejoramiento y Utilización del Ganado Hartón del Valle y otros Recursos Genéticos del Suroccidente.

*Autor para correspondencia: rcamposg@unal.edu.co

Resumen

La producción lechera ha sido una de las grandes áreas del desarrollo de la Zootecnia. En ella se reúne el mejoramiento genético, logros en la producción de leche, disposición de la ubre, velocidad de ordeño, variación en la composición química, rendimiento lácteo en subproductos; así mismo, el avance en la nutrición para atender los requerimientos de los altos volúmenes de leche, evolución en los sistemas de producción, innovaciones tecnológicas en el ordeño, higienización y aseguramiento de calidad, uso de biotecnologías para la optimización de la producción y la reproducción, generación de nuevas razas y estudio de posibles bondades productivas de recursos genéticos locales. El objetivo de este documento es: en los ochenta años de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, presentar una breve sinopsis de la producción lechera, como un homenaje a los profesionales y productores que han participado en su desarrollo, en especial de los grupos raciales bovinos Lucerna y Hartón del Valle.

Palabras claves: Bovinos, domesticación, genética, Hartón, zootecnia.

Abstract

The dairy production has been one of the big areas of the development of the Zootecnia. In her the genetic improvement meets, with achievements in the production of milk, disposition of the udder, speed of milking, variation in the chemical composition, lacteal performance in by-products; likewise, the advance in the nutrition to attend to the requirements of the high volumes of milk, evolution in the systems of production, technological innovations for milking, cleaning and quality insurance of the final product, use of biotechnologies for the optimization of the production and the reproduction, generation of new races and study of possible productive kindness of our genetic local resources. The aim objective of this document, it is in 80 years of the Faculty of Agricultural Sciences, to present a brief synopsis of the dairy production, as an honoring to the professionals and dairymen that have taken part in their development, especially the racial bovine groups Lucerne and Hartón of the Valley.

Keywords: Animal production, bovines, domestication, genetic, milk production.

Historia de la producción de leche

El descubrimiento de la agricultura, permitió a la especie humana un salto adaptativo al pasar de ser recolectora nómada a colectora sedentaria; previamente, la domesticación de animales, que inicia en el Neolítico con el perro, la oveja y la cabra (Arias y Armendáriz, 2000), permitió disponer de recursos proteicos suficientes todo el año. A través de la domesticación, el hombre mostró su hegemonía sobre los animales y dominó especies que podían ser utilizadas para su beneficio; éste fue un momento crucial hacia la civilización moderna, ya que el hombre dejó sus hábitos vegetarianos pasando al uso de proteínas animales en su dieta, lo que conllevó a un mayor y más rápido desarrollo cerebral (ILRI, 2005).

La diferencia en la secuencia de bases del genoma entre humanos y su pariente vivo más cercano, el chimpancé, es solo del 1%. En este pequeño porcentaje se produjeron cambios que permitieron evoluciones, tales como, la expansión del cerebro, cambios morfológicos y funcionales en la muñeca y el pulgar de la mano (que sin duda fueron útiles en el ordeño), y en la fisiología y bioquímica del organismo facilitando a nuestros ancestros digerir nuevos alimentos. Este hecho permitió, hace 9000 años, que los adultos pudieran consumir leche (capacidad restringida solo a los neonatos de los demás mamíferos), acarreando el surgimiento de la necesidad de la leche y el desarrollo de la ganadería (Alva, 2015).

El uro, parece ser el ancestro común de los bovinos actuales, de él se originaron el *Bos primigenius primigenius* (Uro euroasiático), el *Bos primigenius namadicus* (Uro indico) y el *Bos primigenius africanus* (Uro africano) (Clutton, 1987). Mediante técnicas genéticas de ADN mitocondrial (solo transmitido por la madre), se ha podido establecer que en el origen de las diferentes razas bovinas no participaron más de 100 individuos, esto sin duda indica que la diversidad genética en el ganado lechero es baja.

Los bovinos se distribuyeron por el mundo de acuerdo a la migración de la población, cada región generó una raza particular en Europa, África y Asia; así, aparecen dos grandes troncos genéticos: el de origen Europeo (*Bos taurus taurus*) y el de origen asiático (*Bos taurus indicus*) (Loftus et al., 1994). Siglos después, con la colonización española (siglo XV) llegaron a América y posteriormente gracias a la expansión del imperio inglés a Oceanía. Actualmente los bovinos lecheros están presentes en todos los continentes.

Según Schmidt y Van Vleck (1975), las primeras evidencias sobre el empleo de la vaca en la vida doméstica, su ordeño y uso de la leche se sitúan alrededor del 10500 aC, en el oriente próxi-

mo; éstas provienen de los primeros asentamientos de agricultores de Europa; primero, tabloides en arcilla con referencias a grupos humanos en actitud de extracción de leche en vacas; posteriormente, se encontraron pinturas rupestres con escenas de ordeño correspondientes al desierto del Sahara. Finalmente, en tumbas egipcias de hace 4300 años, se encuentra lo que parece ser restos de leche coagulada, ahora conocida como queso. En el siglo XIII Marco Polo narra que los tártaros cogían leche de yegua, la secaban al sol, separaban la mantequilla y posteriormente la bebían mezclada con agua.

La elaboración del queso seguramente fue descubierta por diversas comunidades simultáneamente. En el antiguo Egipto se cuidaban vacas y se les ordeñaban para obtener leche, considerando que el descubrimiento del queso estuvo estrechamente ligado al manejo de la leche, ésta se conservaba en recipientes de piel, cerámica o madera; debido a los residuos, la escasa higiene y las condiciones climáticas, la leche fermentaba con rapidez; el siguiente paso posiblemente fue extraer el suero de la cuajada para elaborar algún tipo de queso fresco, sin cuajo, de sabor fuerte y ácido.

En la antigua Grecia, el uso de leche era habitual tanto en alimentación, como en los bosquejos de cosmetología. Hipócrates, padre de la medicina hacia 400 aC, recetaba leche fresca como antidoto para venenos. Así mismo, eran corrientes los baños en leche, ya que le atribuían poderes asociados al mantenimiento de la juventud. En la mitología se creía que en el origen de la “Vía Láctea”, las estrellas provenían de las gotas de leche que la diosa madre dejaba escapar cuando amamantaba. El antiguo testamento, hace una épica referencia a la leche cuando hablando de la tierra prometida para los judíos, manifiesta “... tierra que mana leche y miel”.

Los bovinos en América

En América, los bovinos llegan en el segundo viaje de Colón, hacia finales del siglo XV (Gómez y Rueda, 2011). Es posible que algunos núcleos pudieran provenir de las islas canarias, sin embargo, el grueso de la población proviene del continente europeo, siendo España el centro de distribución. El puerto de partida hacia el nuevo mundo fue Cádiz en Andalucía; por esto, se considera que las razas andaluzas y extremeñas (Retinta, Berrendas y Rubio Gallego) pudieron ser el origen de las razas bovinas criollas en Suramérica. Los primeros bovinos eran pequeños y robustos, características que exigía el largo viaje desde España. El poblamiento fue rápido, desde la isla de La Española (hoy Santo Domingo) a donde llegaron los primeros ejemplares bovinos.

A partir de allí, se dispersaron a la mayoría de países del Caribe y del norte de Suramérica. Otras rutas de poblamiento bovino en América del Sur, se localizaron al sur del continente y desde las costas del Brasil Central (Bahía).

Rodrigo de Bastidas es el primer colonizador que introduce bovinos a Colombia. En 1524, la corona le otorga una cédula Real, que le permite traer al puerto de Santa María (actual Santa Marta), 200 vacas, cerdos y caballos, desde la Isla de La Española. Hacia 1531, Francisco Pizarro se dirige hacia el sur desde lo que actualmente es Panamá, lleva caballos y vacunos; de esta segunda ruta al parecer llegan también bovinos a Colombia. Una ruta que sin duda pobló los valles interandinos fue la empleada por Sebastián de Belalcázar, importante difusor de los bovinos en varias regiones del país.

Los bovinos, desconocidos para los nativos, fueron poblando las llanuras del Caribe y la Orinoquía; algunas veces producto de la exigencia de la Corona a los colonizadores, en la cual para fundar un poblado era necesario garantizar un número de bovinos, porcinos y aves para el alimento de la población; en otros casos, la fuerte presencia de la iglesia que manejaba importantes áreas de terreno y consideró que la ganadería bovina como fuente de trabajo y generadora de riqueza; es así como en la sabanas del río Meta, sobresale el Sanmartinero, raza criolla originada en los ganados llevados a la zona por los jesuitas. Las rudas condiciones de los caminos y las enormes distancias recorridas en los procesos de colonización, dieron a los bovinos criollos sobrevivientes, adaptación, rusticidad y temperamento manso.

Los bovinos criollos colombianos (Costeño con Cuernos, Romosinuano, Blanco Orejinegro, Chinosantandereano, Sanmartinero, Hartón del Valle, Casanareño y Caqueteno), deben su nombre a sus características fenotípicas o al lugar de origen; fueron las razas predominantes en el país hasta la segunda década del siglo XX. Su adaptación a climas cálidos y húmedos, forrajes de baja calidad y escasa selección genética, permitieron que estas razas desarrollaran su potencial productivo sin mayores manipulaciones (Sourdis, 2008).

El inicio de la producción lechera fue lento, principalmente, porque al no existir en la población aborigen tradición de uso de la vaca, su explotación lechera fue tardía; los primeros bovinos se emplearon para tracción y trabajo y, como fuente de carne. El consumo de lácteos se centró en leche fresca, el procesamiento hacia derivados (quesos, mantequillas, cremas, yogures y kumis) solo se da en forma industrial a finales del siglo XX.

En 1872, se registró la primera importación de ganados de raza Holstein; esta raza será el origen de la mayoría de vacunos lecheros que existen en el país; otras razas como la Pardo Suizo (entra en 1928), la Ayrshire (llega en 1910), la Jersey (importada en 1946) y otros grupos raciales fueron cruzados con los bovinos criollos, generando múltiples combinaciones raciales, conocidas actualmente como grupos multirraciales, en cuya composición también participan bovinos *Bos taurus indicus*.

Hacia 1915 ingresan al país ejemplares de raza Cebú desde Brasil, a partir de esta fecha, se inician grandes cambios en la composición racial bovina y su especialización productiva. En la década de los sesenta, llega al país la Gyr, raza lechera cebuina de origen indio, con su llegada se transforman los cruces lecheros en Colombia; según Asocebú (2014), “Colombia cuenta con cerca de 40 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, de las cuales más del 60% están ubicadas en altitudes menores a los 1000 msnm y a temperaturas que oscilan entre los 23°C y los 32°C. De las 26 300 000 cabezas que constituyen el hato nacional, por lo menos el 95% tiene genética cebuina”. Los ganados Cebú dan una importante condición y particularidad a nuestro tipo de producción lechera, el cruce entre ganados cebuinos (*Bos taurus indicus*) y de origen europeo (*Bos taurus taurus*), origina el denominado “doble propósito” que en sí no es una raza, sino un tipo o modelo de producción, donde prima la alimentación basada en pastoreo, el ordeño con ternero y el levante de todos los animales nacidos en la explotación.

En Colombia el 80% de la leche producida proviene de sistemas doble propósito, solo el 6% se obtiene a partir de razas especializadas con sistemas semi-intensivos, el restante porcentaje proviene de sistemas de cría cuyo objetivo es la producción de carne.

Composición láctea y consumo per cápita

La leche es el único alimento para las primeras fases de crecimiento en mamíferos. De hecho, es su alta calidad nutricional, lo que ha llevado a que a través de los siglos su consumo se haya mantenido y aumente día a día, siendo básica en la dieta de la población humana. La composición química de la leche incluye más de 100 componentes identificados. En principio, la leche está compuesta por carbohidratos (lactosa), grasas (principalmente triglicéridos), proteína (caseína), minerales y vitaminas que se encuentran en solución, emulsión o suspensión en agua. Porcentualmente, la leche está constituida en un 87.6% por agua, 4.6% por lactosa, 3.8% por

grasa, 3.2% por proteína y 0.8% de minerales y vitaminas, generando un balance completo como alimento individual. La composición química de la leche es variable, en razón de la raza del animal, las condiciones nutricionales, la época del año, la fase o período de la lactancia y la edad, entre otros factores ambientales.

La leche es ideal como alimento para neonatos; sus principales minerales calcio y fósforo están asociados a la caseína de la leche, son liberados en forma controlada durante la formación del cuajo, mientras que el suero constituye la primera fuente de hidratación ya que el 95% de éste es agua.

Según la FAO (2014), “*La leche como alimento proporciona el 3% del suministro de energía en Asia y África, en comparación con el 8% al 9% en Europa y Oceanía; del 6% al 7% del suministro de proteínas en Asia y África, en comparación con el 19% en Europa; y del 6% al 8% del suministro de grasas en Asia y África, en comparación con Europa, Oceanía y las Américas, donde proporciona entre el 11% y el 14%*”. Se calcula que actualmente (2014), seis mil millones de personas consumen leche en el mundo y que en 2030 el consumo crecerá un 125%, impulsado por los mercados asiáticos.

El consumo *per capita* de leche se distribuye en tres grandes grupos: los países altos consumidores, con 150 kilos o más de leche al año, e incluye Europa, Argentina, Pakistán, Israel, Australia; los consumidores medios, que consumen de 30 a 150 kilogramos/año, entre éstos India, Nueva Zelanda, Japón, Kenia, África septentrional y la mayoría de países de América y, finalmente, los consumidores menores, que en su dieta ingieren menos de 30 kilos de leche o sus derivados por año, siendo los países del sudeste asiático y la mayoría de países africanos, los que agrupa esta clasificación.

En décadas pasadas, la producción mundial de leche creció significativamente; en los últimos 24 años, ésta se incrementó un 32%, sin embargo, el consumo *per cápita* de leche disminuyó el 9%, lo que indica que la producción de leche no siguió el ritmo del aumento de la población; esto puede atribuirse al crecimiento demográfico, la caída de la producción de leche en los países desarrollados y el ingreso de nuevos consumidores como la población del sudeste asiático (Knips, 2005).

En Colombia el consumo es asimétrico y ronda los 143 kilos habitante/año, de los cuales 1.2 kilogramos se realiza en forma de queso. Los consumos, tanto de leche fresca como de queso, son bajos, lo cual se debe en parte a la capacidad adquisitiva y a la idiosincrasia local que no posee tradición en el consumo de quesos madurados,

derivados fermentados y productos larga vida. La recomendación de la FAO para mantener una nutrición adecuada es de 170 kilos/habitante/año. El mundo en promedio consume 104 kilos de leche/año y aunque va en aumento, existen profundas diferencias regionales y económicas en las tendencias de consumo. Los países desarrollados consumen tres a cuatro veces más que los países subdesarrollados.

La producción mundial de leche en 2014 alcanzó 780 millones de toneladas métricas. Los principales países productores son India, Estados Unidos, China, Pakistán y Brasil. A nivel nacional la producción alcanza 6.5 millones de tm; se identifican tres grandes cuencas lecheras: el Altiplano Cundiboyacense, la Costa Atlántica que incluye la zona lechera de Antioquia y la cuenca del Suroccidente donde Nariño, posee una alta participación.

En el mundo la leche es un producto asociado a pequeños productores. Alrededor de 160 millones de familias, son responsables de la producción, para éstas la leche es fuente de bienestar económico y seguridad agroalimentaria. Estos 160 millones de hogares tienen como principal sustento económico la producción de leche, especialmente en los países en vía de desarrollo, donde la lechería está centrada en productores familiares que soportan condiciones adversas determinadas por la zona geográfica, con climas cálidos o húmedos, recursos forrajeros de baja calidad, enfermedades y acceso limitado a mercados y servicios (Knips, 2005).

En Colombia el 87% de la leche es producida en unidades familiares, en núcleos de menos de 25 animales, la producción lechera local no es de alta tecnificación, genera gran demanda de mano de obra y elevada participación en el producto interno bruto.

Desarrollo y tendencia de la producción lechera

Cientos de años de selección natural y humana, deriva genética, endogamia y cruzamiento contribuyeron a la diversidad de los animales productores de leche, permitiendo que la cría de ganado se practique en diversos ambientes y sistemas de producción (ILRI, 2005). Por ejemplo, en el mundo entre 1983 a 2003, la media anual de aumento de producción por vaca Holstein seleccionada fue de 193 kilos en Estados Unidos, 131 kilos en Holanda, 46 kilos en Irlanda y 35 kilos en Nueva Zelanda (Dillon, Berry, Evans, Buckley, Horan, 2006).

La industria lechera experimentó cambios drásticos desde 1900, pero fue a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando sufrió una rees-

estructuración dramática. Esta se cimentó en tres pilares claves: desarrollo tecnológico, cambios en los sistemas de producción de leche y especialización genética. La innovación tecnológica revolucionó la agricultura y permitió mejorar la eficiencia en la producción lechera a través de la introducción de equipos y maquinaria (ordenadoras mecánicas, sistemas de alimentación, manejo de residuos, tanques de enfriamiento, etc.). El cambio de los sistemas de producción tuvo un efecto tan fuerte como las innovaciones, pasando de una producción de leche basada en el pastoreo a sistemas de confinamiento, donde los animales recibían la alimentación de acuerdo a sus requerimientos nutricionales. Por último, con la especialización, la producción de leche pasó de ser una actividad, tal vez secundaria en la granja, a ser la más importante; contribuyendo también a la construcción de regiones lecheras identificables por la sociedad (Blayney, 2002).

Hacia finales del siglo XIX, se demostró que los tratamientos térmicos resultaban eficaces para destruir bacterias presentes en leche. Este hecho, dio origen a un método que permitió la conservación del producto y una medida higiénica fundamental para proteger la salud de las personas; así aparece la industrialización de la leche (Schmidt y Van Vleck, 1975).

Durante los últimos 50 años, el sector lechero en los países desarrollados ha evolucionado hacia tamaños de hatos más grandes y mayor producción anual de leche por vaca. La fuerza motriz de este desarrollo ha sido la capacidad de los agricultores para aumentar los ingresos a través de una mayor productividad y la adopción tecnológica, que a menudo requieren alto capital y, simultáneamente la presión por rentabilidad y la reducción de costos (Gerosa y Skoet, 2012).

El crecimiento de la producción de leche impulsó cambios tecnológicos en el sector, permitiendo importantes aumentos en la productividad y la aparición de grandes lecherías. A pequeña escala, los productores de leche en países en desarrollo se han mantenido al margen de los avances. Lo anterior debido a que la mayoría de leche en estos países todavía se produce en sistemas tradicionales, con poca o sin mecanización, o carentes de innovaciones tecnológicas; escasas unidades de gran escala se pueden encontrar en los países en desarrollo, sin que éstas sean un porcentaje importante (Gerosa y Skoet, 2012).

Las empresas de productos lácteos en el mundo enfrentan cambios y desafíos, y permanentemente están obligadas a reconsiderar sus estrategias de producción. Los retos más importantes son la creciente demanda de productos lácteos junto con la preocupación sobre el suministro de leche, la cual crece a un ritmo más lento que la

demanda. Por otra parte, enfrentan un número cada vez mayor de situaciones desafiantes; las necesidades de consumo en combinación con el aumento de poder de los clientes, entre otras. En consecuencia, el proceso de concentración industrial por medio de fusiones, adquisiciones y alianzas estratégicas en el sector lácteo ha sido elevado (Knips, 2005), evidenciándose cambios estructurales y adopción de diversas estrategias productivas en el sector lechero mundial, que posibilitan acogerse a nuevas exigencias de mercado y a proyectos de seguridad alimentaria (Caja y Medrano, 2006).

En Colombia, el proceso de desarrollo y estructuración productiva fue similar al resto del mundo, aunque más lento y con menor cobertura territorial. La industrialización se construyó empíricamente hace muchos años, y se inició cuando hacendados influyentes empezaron a traer bovinos especializados, lo que conllevó a un proceso de modernización productiva y transformación lechera, así como producción de alimento para estos vacunos, ya que sus requerimientos nutricionales eran mayores (Quintero, 2011).

Nutrición de rumiantes: logros y retos

La nutrición práctica de los animales se remonta a la época de la antigua Roma. Plinio dio recomendaciones precisas sobre la importancia de la adecuada alimentación para obtener buenos resultados productivos, la mejor calidad de los pastos tiernos con relación a los maduros y el efecto de las leguminosas sobre la fertilidad del suelo. El conocimiento práctico de la nutrición y alimentación animal existe desde la domesticación animal y, en muchos casos sigue siendo predominante en los sistemas extensivos de pastoreo. Con el avance del tiempo se fue perfeccionando y evolucionando hasta el siglo XVIII, cuando se sentaron las bases científicas, debido principalmente a los trabajos de Lavoisier. El avance de la nutrición como ciencia ha dependido de la física, la química y la bioquímica (Van Soest, 1982; Drackley *et al.*, 2005).

En los países de estaciones es necesario confinar los animales para protegerlos de las inclemencias invernales, esto permitió, indirectamente suministrar alimentos en cantidad y calidad para satisfacer las necesidades nutricionales del animal. Así, se controlaron los factores ambientales que afectan el consumo y, se generalizaron las operaciones de alimentación en confinamiento durante todo el año, garantizando un consumo voluntario igual o superior a las necesidades de los animales (henos, ensilados, henolajes), acompañado con buena disponibilidad de alimentos concentrados y subproductos de la agroindus-

tria de los biocombustibles (alcohol), fuentes de energía (maíz grano) y proteicos (torta de soya), a precios favorables. Su sostenibilidad ha sido cuestionada y se han propuesto alternativas discutidas ampliamente (Kebreab, 2013).

Las modernas fincas lecheras en Estados Unidos son más eficientes con relación a 1944. Para producir la misma cantidad de leche (un billón de kg), actualmente se utilizan el 21% de animales, el 23% de alimentos, el 35% de agua y, el 35% de tierra. La generación de excretas es del 24%, el 43% de metano y el 56% de óxido nitroso. La nutrición balanceada ha permitido alcanzar altos niveles de productividad y eficiencia (Capper, Cody y Bauman, 2009; Drackley, Donkin y Reynolds, 2005).

Los estándares nutricionales (ganado de carne, ganado lechero, doble propósito) son confiables y precisos, pues están basados en las leyes universales de la termodinámica, que operan en cualquier localidad geográfica de la zona templada o tropical (McLennan y Poppi, 2012).

En los sistemas de producción en el trópico, los animales están en pastoreo desde el nacimiento, sus requerimientos nutricionales son conocidos y validados. Pero los niveles productivos y eficiencia de producción siguen siendo bajos. Los desarrollos alcanzados en Nueva Zelanda y Australia son paradigmáticos y confirman la regla. Para satisfacer las necesidades de alimentos de la creciente población humana se han colonizado grandes áreas de antiguos bosques y selvas tropicales y se ha incrementado la población ganadera (CSIRO, 2007).

La nutrición de rumiantes en pastoreo, sigue siendo más un arte que una ciencia, se basa en el error y el acierto; a pesar de los grandes y continuos avances alcanzados en los últimos años. La primera versión de los requerimientos nutricionales del ganado Cebú denominado BR CORTE se realizó en 2006, y mostró que los requerimientos del ganado Nellore, criado en las condiciones predominantes en Brasil eran más bajos.

Según la metodología de dinámica de sistemas (DS) (Nicholson, 2015), se pueden estudiar problemas complejos y obtener información sobre dónde se deberían realizar intervenciones para corregir la estructura del modelo. La DS en un sistema de pastoreo permite en forma integral formular hipótesis sobre la relación entre estándares nutricionales, requerimientos con diferentes condiciones de producción, aporte de nutrientes, consumo voluntario, los muchos factores que lo modifican, los niveles de nutrientes en las pasturas, y la enorme diversidad y variabilidad en el tiempo, ya que todo es complejo y dinámico.

En la nutrición de rumiantes en pastoreo, a diferencia de las operaciones de alimentación en confinamiento, predominan dietas desbalanceadas; en la práctica, no es posible balancear la dieta. El consumo voluntario de materia seca es impredecible y el contenido de nutrientes muy variable. No hay control sobre los factores que afectan el consumo y el nivel de nutrientes suministrado generalmente es deficiente y desbalanceado, que refleja la baja eficiencia productiva. Este es uno de los problemas que hay que resolver y afortunadamente hay técnicas que podrían solucionarlo. La espectroscopia del infrarrojo cercano fecal (F-NIRS), permite a partir de las heces determinar la calidad nutricional (energía, proteína) de la dieta consumida, es posible también establecer el consumo voluntario de materia seca; el método es económico y puede hacerse en tiempo real (Texas A&M, 2010). El segundo componente de la nutrición de rumiantes (aporte de nutrientes) ha limitado la aplicación de los avances logrados, es probable que esta limitante se resuelva en los próximos años. El componente matemático de la ecuación –los requerimientos nutricionales es bien conocido y sólido–, y cada día es más preciso y sofisticado (McLennan y Poppi, 2012).

Thonney y Hogue (2013) demuestran el error intrínseco de la formulación de dietas balanceadas, al determinar un nivel de consumo de materia seca y, con base en ese consumo se procede a determinar el nivel de nutrientes necesarios, sin considerar los contenidos de los ingredientes que, a su vez, modifican el consumo de materia seca. Proponen el método basado en el contenido de Fibra Detergente Neutra Fermentable (FDNF); se reconoce que el consumo de materia seca es afectado por los diferentes componentes dietéticos y que el apropiado nivel de componentes (carbohidratos no estructurales, fibra detergente neutra fermentable, fibra detergente neutra indigestible, proteína cruda, extracto etéreo, y cenizas-minerales), podrían prevenir problemas metabólicos comunes.

Frente a los graves problemas del crecimiento de la población humana, cambio climático e inequidad creciente es razonable dar un giro a la nutrición animal y evolucionar. Recientemente la FAO (Makkar y Ankers, 2014) propuso un nuevo concepto, fundamental para los sistemas sostenibles de producción animal: la dieta “animal sostenible”. Esta integra el manejo de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, los beneficios sociales y económicos, la disminución de la pobreza, la seguridad alimentaria, la integridad ética y la sensibilidad.

Los grandes logros de la producción animal: eficiencia alimenticia y alta productividad, encontrados en los países con operaciones de alimen-

tación en confinamiento se pueden lograr y aun superar en nuestro medio. El potencial genético de los animales es importante, pero en general la mejora en nutrición es responsable de los grandes avances, que permitió en el pasado alimentar a la población humana, en el futuro seguramente también se logrará si podemos aplicar los conocimientos científicos de nutrición animal.

Producción de leche y bST

En condiciones climáticas tropicales los problemas más frecuentes que enfrentan los productores continúan siendo baja producción de leche y corta persistencia de la lactancia, ya sea en ganado puro o mestizo, lo cual ha sido atribuido a la genética de los individuos, a la temperatura ambiental y a factores hormonales que pueden influir la producción (Sitprija *et al.*, 2010).

Entre las estrategias que se han planteado para solucionar inconvenientes en la producción de leche se encuentran las técnicas de sincronización de celos, la inducción artificial de la lactación, prácticas durante el periodo de transición y uso de hormona de crecimiento (GH) en la fase media y final de la lactancia (Caja y Medrano, 2006).

La acción de GH como factor estimulador de la producción lechera ha sido estudiada ampliamente; mediante tecnologías recombinantes se logró sintetizar la hormona para usarla a gran escala en ganado lechero. Comercialmente es conocida como somatotropina bovina recombinante (rbST) y biológicamente equivale a la GH natural derivada de la pituitaria (Settivari *et al.*, 2007).

Diversos estudios con aplicación de rbST han demostrado que incrementa la producción de leche y prolonga la persistencia de la curva de lactancia, su aplicación es una herramienta de manejo que mejora la eficiencia productiva en las ganaderías lecheras; y aunque su uso ha sido discutido, hasta el momento no se han comprobado efectos adversos en la salud humana por el consumo de esta leche; sin embargo, se describen algunos riesgos para el animal por la aplicación del producto dependiendo de la fase de lactancia en la que se realice, estableciéndose que los animales deben encontrarse en balance energético positivo (Raymond *et al.*, 2009).

Datos provenientes de un meta-análisis realizado en vacas Holstein acerca del uso de la rbST muestran un aumento significativo en rendimiento en leche, basado en el número de partos del animal; vacas primíparas aumentaron 11,3% su producción, y vacas múltiparas 15,6% durante el tratamiento (Dohoo *et al.*, 2003). La rbST también ha sido usada en novillas sometidas a inducción

de la lactancia por métodos hormonales, aumentando su producción un 15.5% en los 305 días de lactancia (Macrina, Kauf, and Kensinger, 2011).

Los grupos genéticos locales: Hartón del Valle y Lucerna

Se define adaptación como los cambios que le permiten al animal disminuir contratiempos fisiológicos producidos por componentes ambientales del entorno. Una de las principales cualidades que se le atribuyen a las razas Hartón del Valle y Lucerna es su capacidad adaptativa fenotípica y genotípica, que les ha significado mayor supervivencia.

La raza Lucerna es un esfuerzo genético de combinar razas del norte de Europa con el criollo para formar un grupo racial, adaptado a las condiciones tropicales. Se logró rusticidad, mayor potencial y aptitud para la producción de leche mayor que otras razas (3000 litros por lactancia). Fue la primera raza formada en Iberoamérica, reconocida como raza sintética en 1983.

Estudios realizados, indican que la conformación racial está compuesta por 40% Holstein, 30% Hartón del Valle y 30% Shorthorn Lechero. Las cualidades fisiológicas de la raza se reflejan por su constitución vigorosa y saludable, alta adaptabilidad, rusticidad, capacidad de pastoreo, resistencia a enfermedades y excelente fertilidad en clima caliente, acompañándose además de una sobresaliente longevidad y baja mortalidad (Durán *et al.*, 2009).

El Hartón del Valle, bovino criollo, originado de los ganados introducidos por los conquistadores españoles y sometido a un largo proceso de selección natural, que le confirió adaptación, reflejada en capacidad para sobrevivir en climas cálidos, húmedos o secos, con alimentos de baja calidad nutricional y escasez de agua, alta fertilidad con intervalos entre partos de 365-390 días y natalidad superior al 90%, menor susceptibilidad a enfermedades parasitarias y mejor producción de carne y leche. La producción de leche y duración de la lactancia se aproximan a 2100 litros en 280 días en ordeño especializado, o 1450 litros y 270 días con ordeño y ternero al pie (Casas y Valderrama, 1998). Los productores utilizan la raza principalmente en doble propósito 60%, y para producción lechera en un 30%; es común que la raza se emplee en mejoramiento genético de cruces raciales "tri-cross", donde la presencia del hartón aporta rusticidad y calidad láctea.

Del grupo genético Hartón del Valle se ha estudiado su diversidad genética en general y se han desarrollado trabajos específicos sobre variabilidad de los genes de las proteínas de la leche κ -caseína, β -lactoglobulina y α -lactoalbumina;

igualmente, la posible presencia de genes de resistencia a patógenos prevalentes en el país, entre ellos los asociados a mastitis (Rosero *et al.*, 2012); también se ha caracterizado la curva de lactancia y la composición química de la leche, que muestra un alto valor de sólidos totales, lo cual es sin duda el valor genético de este grupo racial.

Perspectivas del mejoramiento genético animal en el trópico

Durante siglos, los criadores han manipulado eficazmente los genotipos de los animales con fines productivos, haciendo uso del hecho de que dentro de las especies, razas y poblaciones existen las variaciones naturales (Eggen, 2012). El desempeño observado o fenotipo de un individuo, es el resultado de la interacción entre su genotipo y el ambiente específico recibido durante su vida. Por este motivo, investigadores, a través de la genética cuantitativa, han tratado de separar del fenotipo los componentes: genético aditivo, no aditivo, ambiental y sus interacciones, y de esta manera predecir el mérito genético de un animal tomando como base los registros fenotípicos de desempeño individual y el *pedigree* (Berry *et al.*, 2011; Goddard, 2012).

Actualmente, para las evaluaciones genéticas en bovinos se analiza conjuntamente la información de desempeño y *pedigree* con metodologías estadísticas flexibles y precisas como los modelos mixtos (Martínez, Manrique and Elzo, 2012; Montaldo *et al.*, 2012), con el uso particular del modelo animal, que es un modelo lineal de cada uno de los efectos fijos (e.g. año, época) y efectos aleatorios genéticos y no genéticos, que contribuyen al fenotipo individual para una o más características. Esta información es combinada con una serie de matrices que definen las covarianzas de los efectos de los individuos en las poblaciones (Hill, 2012).

El uso de modelos mixtos permite obtener el BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), una herramienta estadística que determina simultáneamente los mejores estimadores lineales insesgados de los efectos fijos y de los valores genéticos, de esta forma se obtienen los valores de cría de los individuos para las diferentes características de importancia económica (Martínez *et al.*, 2012; Montaldo *et al.*, 2012). La metodología BLUP ha permitido la evaluación genética a gran escala entre poblaciones, aumentar la precisión de selección y controlar la consanguinidad (Nguyen y Ponzoni, 2006). El enfoque BLUP modelo animal es una de las principales metodologías que se utiliza para las evaluaciones genéticas en bovinos en diferentes países (Montaldo *et al.*, 2012).

A pesar de que los métodos tradicionales para el mejoramiento animal han sido exitosos, su eficiencia se reduce cuando las características a mejorar solo se pueden medir en un sexo (producción de leche), después de la muerte (calidad de la carne), tarde en la vida del animal (longevidad) o si su medición es costosa (producción de metano, eficiencia alimenticia) (Goddard y Hayes, 2009; Eggen, 2012). Por tanto, para el mejoramiento de estos caracteres se han propuesto otras técnicas enfocadas en la identificación de los genes que determinan su expresión, y la posterior selección de los animales portadores de los alelos favorables (Goddard y Hayes, 2009).

En los últimos años, la rápida evolución de las tecnologías “ómicas” ha permitido el desarrollo de nuevos conocimientos y herramientas para los programas de mejora genética en bovinos (Goddard, 2012). Estos avances han dado lugar a nuevos métodos de producción que permiten lograr incrementos permanentes en el desempeño animal y mejoras en la eficiencia de la producción ganadera a largo plazo (Eggen, 2012).

Entre las tecnologías “ómicas” de mayor aplicación en el mejoramiento animal se encuentra la selección asistida por marcadores moleculares (SAM) y la selección genómica (Berry *et al.*, 2011).

La SAM permite establecer un vínculo entre la herencia de una característica de interés y la segregación de marcadores genéticos que son específicos y medibles, asociados a los genes que afectan la expresión de la característica (QTL- *Quantitative Trait Loci*) (Berry *et al.*, 2011). El ligamiento genético entre los marcadores y un QTL (conocido también como desequilibrio de ligamiento) ocurre cuando dos *loci* están lo suficientemente cerca en el genoma que es raro que se recombinen durante la meiosis, de esta manera se conservan segmentos de cromosomas que se heredan de padres a hijos. Por esta razón, la selección por marcadores ligados a un QTL, resulta en una respuesta productiva sobre el carácter de interés (Miller, 2010). Entre los marcadores genéticos más utilizados se encuentran los SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*) que son variaciones en una sola base de la secuencia de nucleótidos del ADN y son mutaciones comunes ocurridas en el genoma (Ángel, Cardona y Cerón, 2013).

La SAM ha permitido el mejoramiento de caracteres de baja heredabilidad, en el caso de los bovinos se han obtenido buenos resultados en características como terneza de la carne, composición de leche y resistencia a enfermedades (López, Cano, Chassin y Zavala, 2007). A pesar de que la SAM ha mejorado la precisión de selección en los animales, aún se encuentran inconvenientes que limitan el uso masivo de esta tecnología.

La principal limitante es que se requiere tener un conocimiento previo de los genes o marcadores que están asociados con la característica de interés, junto con estimaciones cuantitativas de estas asociaciones en una población específica, además, la identificación de un QTL no permite explicar toda la variación genética de un carácter cuantitativo y es por este motivo que la SAM solo explica una parte de las diferencias genéticas entre individuos (Eggen, 2012; Berry *et al.*, 2011).

El desarrollo de tecnologías para la genotipificación del ADN ha permitido conocer las secuencias del genoma de diferentes especies a bajos costos. Esto ha posibilitado la comparación de secuencias en animales de diferentes razas, obteniéndose una gran cantidad de marcadores genéticos en forma de SNPs (Eggen, 2012). Esta información ha sido útil para la realización de estudios de asociación del genoma completo en las diferentes especies animales de importancia económica (Montaldo *et al.*, 2012). De esta manera se ha pasado de la SAM a la selección genómica, la cual se basa en el principio de que es posible utilizar la información de un gran número de marcadores para estimar valores de cría en los animales, sin tener conocimiento de la ubicación específica de los genes en el genoma. Con decenas de miles de SNPs bien distribuidos en el genoma completo, se espera que siempre haya un SNP próximo a un gen particular o fragmento de ADN de interés, de esta forma el ligamiento entre un (o varios) SNP y una mutación causal será evidente y podrá ser utilizada para explicar una fracción significativa de la variación en la característica observada (Eggen, 2012).

Para el establecimiento de un proceso de selección genómica, primero es necesario contar con gran número de animales con información fenotípica (mediciones de características de importancia económica) y genotípica (información acerca de los SNP de cada animal). Esta información servirá de referencia para desarrollar un modelo estadístico el cual estimará el efecto de cada SNP con el carácter de interés. El resultado será una ecuación predictiva que permitirá estimar el valor de cría genómico (VCG) de cada individuo. Después de validada, esta ecuación será útil para estimar el VCG de animales a partir de su genotipo, sin necesidad de contar con registros fenotípicos (Eggen, 2012; Montaldo *et al.*, 2012). De este modo, la selección genómica permite reducir los intervalos generacionales (al seleccionar animales a temprana edad), incrementar la intensidad de selección y la precisión en las estimaciones de los valores de cría aumentando el progreso genético en las poblaciones (Miller, 2010; Hill, 2012).

Las tecnologías (SAM o selección genómica) brindan información que sirve de complemento

para incrementar la precisión de selección en los programas de evaluación genética tradicional. Las estimaciones de los valores de cría basados en información fenotípica y *pedigree*, se pueden combinar con las predicciones genéticas provenientes de los marcadores o con el VCG del individuo. Este enfoque proporciona un nuevo nivel de información que se puede integrar en los procesos de toma de decisiones para identificar y seleccionar los animales más prometedores (Miller, 2010).

En los países en vías de desarrollo ha sido difícil la implementación de estas técnicas SAM, dadas las pocas poblaciones de animales que tienen evaluaciones genéticas (Montaldo *et al.*, 2012). En Colombia, se han realizado investigaciones para promover la SAM en bovinos (Echeverri, López-Herrera y Rincon, 2011; Echevarría y Echeverri, 2012); sin embargo, la falta de registros fenotípicos adecuados de caracteres productivos limitan la aplicación de otras técnicas como la selección genómica.

En el corto plazo será necesaria la implementación de sistemas de registros confiables, los cuales serán básicos para obtener estimaciones exactas de las asociaciones de SNP y así poder determinar ecuaciones con alta capacidad predictiva para identificar los mejores genotipos en condiciones tropicales. En este sentido, la información genómica no solo ayudaría en el estudio conjunto de características productivas de baja heredabilidad, también serviría en la evaluación genética de poblaciones con o sin información de *pedigree*, incrementar la precisión en la estimación de valores de cría en animales puros o mestizos, y en identificación de poblaciones específicas para procesos de conservación, considerando algunas razas locales bien adaptadas a condiciones de trópico, que podrían ser utilizadas en procesos de selección o cruzamiento para formación de genotipos valiosos (Montaldo *et al.*, 2012).

Referencias

- Alva, N. 2015. Leche para la evolución humana. *Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. 3(1) pp. 4.
- Ángel, P. A.; Cardona, H.; Cerón, M. F. 2013. Genómica en la Producción Animal. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 5 (2): 497 – 518.
- Arias, P.; Armendáriz, A. 2000. *Historia de la Humanidad: El Neolítico*. Arlanza Ediciones, S.A., Madrid. 168 p.
- ASOCEBU. 2014. *65 años de historia de grandes campeones*. Editorial Asocebu, Bogotá. 159p.
- Berry, D. P.; Meade, K. G.; Mullen, M. P.; Butler, S.; Diskin, M. G.; Morris, D.; Creevey, C. J. 2011. The integration of 'omic' disciplines and systems biology in cattle breeding. *Animal*. 5 (4): 493–505.
- Blayney, D. 2002. The changing landscape of U.S. milk production. USDA. Electronic report from

- the economic research service. Statistical bulletin number 978. 25 p.
- Caja, G.; Medrano, J. 2006. Manipulación de la curva de lactación y de la composición de leche en rumiantes de la nutri-fenómica a la nutri-genómica?. XXII Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal. 191-201 p.
- Capper J. L.; Cody R. A.; Bauman D. E. 2009. The Environmental Impact of Dairy Production: 1944 Compared with 2007. *J Anim Sci*, 87(6): 2160-2160.
- Casas, I.; Valderrama, M. 1998. El Bovino Criollo Hartón del Valle. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira – Asociación Nacional de Criadores de Ganado Hartón del Valle Asohartón. 60 p.
- Clutton, J. 1987. *A Natural History of Domesticated Mammals*. Cambridge University Press, Cambridge. 238 p.
- CSIRO. 2007. *Nutrient Requirements of Domestic Ruminants*. Csiro Publishing, Collingwood, Vic., Australia, 265 p.
- Dillon, P.; Berry, D.P.; Evans, R.D.; Buckley, F.; Horan, B. 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livest Sci*. 99 (2-3): 141–158.
- Dohoo, I.; DesCôteaux, L.; Leslie, K.; Fredeen, A.; Shewfelt, W.; Preston, A. Dowling, P. 2003. A meta-analysis review of the effects of recombinant bovine somatotropin 1. Methodology and effects on production. *Canadian journal of veterinary research*, 67 (4): 252.
- Durán, C. V.; Durán, J. M.; Molina, C. H.; Suarez, J. F.; Molina, E. J.; Molina, C. H. 2009. La raza Colombiana Lucerna una alternativa para producción de leche y carne en medio de sistemas. En: Estrada, C.; González, L.; Ocaña, H. (Eds) Memorias I seminario Internacional de Producción animal en la Amazonia Colombiana. Florencia, Colombia: Universidad de la Amazonia Colombia, 5 p.
- Drackley J.C.; Donkin S. S.; Reynolds C.K. 2005. Major Advances in Fundamental Dairy Cattle Nutrition. *J Dairy Sci*, 89 (4): 1324 – 1336.
- Echavarría, D. C.; Echeverri, J. J. 2012. Efecto del polimorfismo del gen de la somatotropina (BGH) sobre características lineales en vacas Holstein. *Rev. Lasallista Invest*, 9 (1): 21 – 31.
- Echeverri, J.; López-Herrera, A.; Rincon, J. 2011. Inclusión de los marcadores moleculares para algunos genes de importancia económica en la evaluación genética de toros y vacas lecheras en Colombia. *AICA* 1: 430-433.
- Eggen, A. 2012. The development and application of genomic selection as a new breeding Paradigm. *Anim Front*, 2 (1): 10 – 15.
- FAO, 2014. Anuario estadístico. Disponible en: <http://http://faostat3.fao.org/home/S> [Marzo 5 de 2015]
- Gerosa, S.; Skoet, J. 2012. Milk availability Trends in production and demand and medium-term outlook. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/an450e/an450e00.pdf> [Marzo 31 de 2015].
- Goddard, M. E. 2012. Uses of genomics in livestock agriculture. *Anim Prod Science*. 52: 73 – 77.
- Goddard, M. E; Hayes, B. J. 2009. Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. *Nat Rev Genet*. 10 (6): 381 - 391.
- Gómez, J.; Rueda, R. 2011. Productividad del sector ganadero bovino en Colombia durante los años 2000 a 2009. Tesis de pregrado. Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario. Bogotá.
- Hill, W. G. 2012. Quantitative Genetics in the Genomics Era. *Current Genomics*. 13 (3): 196-206.
- ILRI. 2005. Capacity building for sustainable use of animal genetic resources in developing countries. ILRI-SLU Project. Progress report for the period 1999–2003. Disponible en: http://agtr.ilri.cgiar.org/documents/Library/docs/ILRI-SLU%20Report/Capacity_BuildingFinal.pdf [Fecha de revisión: Abril 1 de 2015].
- Kebreab, E. 2013. *Sustainable Animal Agriculture*. CAB International, Oxfordshire, UK. 313 p.
- Knips, V. 2005. Developing countries and the global dairy sector, Part I: Global overview. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/pplpi/docarc/wp30.pdf>. [Fecha de revisión: Marzo 26 de 2015].
- López, R.; Cano, H.; Chassin, O.; Zavala, M. G. 2007. Selección asistida por marcadores genéticos moleculares en especies animales de interés pecuario. *Ciencia Nicolaita*. No. 46. Disponible en: http://www.cic.umich.mx/documento/ciencia_nicolaita/2007/46/CN46-043.pdf [Fecha de revisión: Marzo 15 de 2015].
- Loftus, R. T.; Machugh, D. E.; Bradley, D. G.; Sharp, P. M.; Cunningham, P. 1994. Evidence for two independent domestications of cattle. *Proc Nat Acad Sci USA*. 91(3): 2757 - 2761.
- Macrina, A.; Kauf, A.; Kensinger, R. 2011. Effect of bovine somatotropin administration during induction of lactation in 15-month-old heifers on production and health. *J Dairy Sci*. 94 (9): 4566 – 4573.
- Makkar, H.; Ankers, P. 2014. Towards Sustainable Animal Diet: A Survey Based Study. *Anim Feed Sci Tech*. 198: 309 – 322.
- Martinez, C. A.; Manrique, C.; Elzo, M. A. 2012. La evaluación genética de vacunos: una percepción histórica. *Rev Colomb Cienc Pecu*. 25: 293 – 311.
- McLennan, S. R.; Poppi D. P. 2012. Application of Nutrient Requirements Systems to Grazing Cattle, With and Without Supplements. En: VIII Simpósio de Produção de Gado de Corte (SIMCORTE), Brasil.
- Miller, S. 2010. Genetic improvement of beef cattle through opportunities in genomics. *R. Bras. Zootec*. 39: 247 - 255
- Montaldo, H. H.; Casas, E.; Sterman Ferraz, J. B.; Vega-Murillo, V. E.; Román-Ponce, S. I. 2012. Opportunities and challenges from the use of genomic selection for beef cattle breeding in Latin America. *Anim Front*. 2 (1): 23 – 29.
- Nguyen, N. H.; Ponzoni, R. W. 2006. Perspectives from agricultura: advances in livestock breeding-implications for aquaculture genetics. *NAGA, World Fish Center Quarterly*. 29 (3-4): 39 – 45.
- Nicholson C. 2015. System Dynamic and Sustainable Intensification of Foods Systems: Complementarities and Challenges. Paper prepared for presentation at 33rd International Conference of the Systems Dynamics Society, July 19-23, 2015, Cambridge. MA. [In press].
- Raymond, R.; Bales, C. W.; Bauman, R.; Clemmons, D.; Kleinman, R.; Lanna, D.; Nickerson, S.; Sejrsen, K. 2009. Recombinant Bovine Somatotropin (rbST):

- a safety assessment. *En: Joint Annual Meeting of the American Dairy Science Association, Canadian Society of Animal Science, and American Society of Animal Science, Montreal, Canada.*
- Rosero, J. A.; Álvarez, L. A.; Muñoz, J. E.; Durán, C. V.; Rodas, A. G. 2012. Allelic frequency of the Kappa-Casein gene in Colombian breeds. *Rev Colomb Cienc Pecu* 25:173 – 182.
- Quintero, E. 2011. Evolución y desarrollo del sector lácteo en Colombia desde la perspectiva del eslabón primario (producción). Monografía. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de ciencias administrativas y agropecuarias. Medellín.
- Schmidt, G.; Van Vleck, L. 1975. *Bases científicas de la producción lechera*. Universidad de Cornell. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 583 p.
- Settivari, R.; Spain, J.; Eilersieck, M.; Byatt, J.; Collier, R.; Spier, D. 2007. Relationship of Thermal Status to Productivity in Heat-Stressed Dairy Cows Given Recombinant Bovine Somatotropin. *J. Dairy Sci.* 90 (3): 1265 – 1280.
- Sitprija, S.; Chanpongsang, S.; Chaiyabutr, N. 2010. Effects of Cooling and Supplemental Bovine Somatotropin on Milk Production relating to Body Glucose Metabolism and Utilization of Glucose by the Mammary Gland in Crossbred Holstein Cattle. *Am J Biochem and Biotechnol*, 6 (3): 213 - 230.
- Sourdis, A. 2008. Ganadería en Colombia cinco siglos construyendo país. Federación Nacional de Ganaderos, FEDEGAN. Bogotá. 381p.
- Texas A&M- AgriLife Research. 2010. Shining Light on Manure Improves Livestock and Land Management. Technical Bulletin. Disponible en: http://www.rangelands.org/pdf/FNIRS_PUBLICATION_FINALRed.pdf [Fecha de revisión: Febrero 10 de 2015].
- Thonney, M. L.; Hogue D. E. 2013. Fermentable Fiber for Diet Formulation. *En: Proceedings 2013 Cornell Nutrition Conference*, 174-198 p.
- Van Soest P.J. 1982. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O&B Books, Corvallis, Oregon, USA. 349 p.