

PRODUCCIÓN DE LECHE CON BASE EN PASTURAS: EL CASO DE LOS HATOS ESPECIALIZADOS EN COLOMBIA. Héctor Jairo Correa Cardona¹

¹ Profesor Asociado. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. E-mail: hjcorreac@unalmed.edu.co

A pesar de la importancia nutricional e industrial de las proteínas lácteas, más de la mitad de la leche proveniente de hatos especializados en Colombia, presentan un contenido de proteína que no supera los estándares mínimos establecidos en la norma que regula el pago de la leche a los productores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), 2007). Es así como mientras que la Resolución 0012 (MADR, 2007) establece un contenido mínimo de proteína de 3,1 y de 3,0% para la leche producida en Antioquia y el altiplano Cundiboyacense, respectivamente, los promedios reportados en Antioquia oscilan entre $2,97 \pm 0,11\%$ (Londoño *et al.*, 2005) y $3,13 \pm 0,14\%$ (Meneses, 2005), en tanto que en el altiplano cundiboyacense este promedio es de $2,92 \pm 0,16\%$ (Torres y Carulla, 2003). En Nariño, el promedio de proteína en la leche, por su parte, es de 2,99% (Colácteos, 2006), ligeramente más bajo al establecido en la Resolución 0012 (MADR, 2007) para la leche producida en este departamento. Por el contrario, en algunos países europeos tales como Francia, Holanda, Dinamarca y Alemania, el contenido de proteína en la leche es alto superando el 3,3% (Taverna, 2003), mientras que en Nueva Zelanda, principal país exportador de leche en el mundo, el nivel promedio de proteína en la leche es aún mayor al alcanzar 3,5% (Hughes y Gray, 2005).

El valor nutricional e industrial (rendimiento quesero) de la leche depende fundamentalmente de su contenido de proteína (Coulon *et al.*, 1998; Mackle *et al.*, 1999; Metwalli y Boekel, 1996; Verdier-Metza, Coulonb y Pradelc, 2001). La κ -caseína guarda una particular importancia debido a su estrecha relación con la estabilidad en la formación del coágulo y, por lo tanto, por su influencia en el rendimiento quesero (Barroso *et al.*, 1998). Así, una menor concentración de

proteína y κ -caseína en la leche, implica un menor valor nutricional e industrial y una reducción en el precio que reciben los productores por esta leche (Castro, 2004; Pérez, 2000; MADR, 2007). Esto ha puesto en riesgo la competitividad y sostenibilidad de estos sistemas de producción y, por lo tanto, la estabilidad económica de las miles de familias que viven de los mismos. De no darse los ajustes necesarios, en dos años, cuando los niveles mínimos de grasa y proteína se incrementen en medio punto porcentual (MADR, 2007), habrá una mayor proporción de productores a los que se les aplicará el descuento por baja calidad composicional de la leche, poniéndose en mayor riesgo la estabilidad económica de éstos.

Aunque está bien establecido que una proporción de la variación en el contenido de proteína en la leche se debe a factores genéticos (Murphy y O'Mara, 1993; Uribe y Smulders, 2004), también se ha demostrado que la dieta ejerce un papel importante sobre esta variación (Bargo *et al.*, 2003, Jenkins y McGuire, 2006; Palmquist y Moser, 1981; Walker, Dunshea and Doyle, 2004) directamente y a través de la modificación del estado energético y proteico de las vacas lactantes (Griinari *et al.*, 1997; Hanigan *et al.*, 2002). Los trabajos que se han realizado en el país sobre este tema, no son muy claros respecto a los mecanismos mediante los cuales el manejo nutricional y alimenticio que reciben las vacas afecta su estatus energético y protéico y los niveles de proteína en la leche y mientras no exista claridad sobre tales mecanismos, no se podrán diseñar estrategias nutricionales y alimenticias que permitan incrementar dicha concentración (Griinari *et al.*, 1997; Hanigan *et al.*, 2002) y, en consecuencia, resolver uno de los problemas más críticos que enfrenta la industria láctea nacional y mundial.

La mayoría de los sistemas de producción de leche especializados en el país están basados en la suplementación con alimentos comerciales y el pastoreo rotacional con cerca eléctrica de praderas en las que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. Ex Chiov.) es la gramínea predominante (Carulla *et al.*, 2004; Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia, 2001;

Osorio, 2004). Al tratarse de explotaciones pequeñas (González y Correa, 2007; Osorio, 2004), normalmente todas las vacas del hato son pastoreadas conjuntamente sin discriminar entre vacas de alta y baja producción, o entre vacas comenzando lactancia y vacas al final de la misma, lo que genera desbalances nutricionales en el hato (Bernal y Montoya, 2003).

Entre los componentes nutricionales y alimenticios más importantes que estarían limitando la síntesis y concentración de proteínas en la leche en los sistemas especializados de Colombia, se destacan la oferta forrajera (Torres y Carulla, 2003), el alto contenido de proteína cruda, proteína degradable en rumen (PDR) y fibra en detergente neutro, así como el bajo contenido de carbohidratos no estructurales y energía en el pasto kikuyo (Caro y Correa, 2006; Correa, 2006; González y Correa, 2007). La variabilidad en la calidad de los suplementos alimenticios así como en la cantidad suministrada a las vacas en producción (Correa, 2006; Abreu y Petri, 1998) se constituyen en otros factores claves en esta respuesta productiva ya que estos suplementos no logran compensar los desequilibrios energéticos y nutricionales de las praderas. De allí que uno de los procesos más limitantes es la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana en el rumen con lo que se generan altas cantidades de amonio. El gasto energético y de aminoácidos durante la transformación del amonio ruminal a úrea en el hígado (Correa y Cuellar, 2004), limita la disponibilidad extrahepática de aminoácidos y energía afectando los mecanismos hormonales que regulan la partición de nutrientes hacia la glándula mamaria (Bauman, 2000), así como al interior de ésta durante toda la lactancia, alterando los componentes de la leche, entre estos el contenido de proteína (Correa, 2006).

Aunque aún no son muy claras las señales endocrinas directamente responsables de la expresión de los genes de las proteínas lácteas (Mackle, Dwyer y Bauman, 2000), si se han podido identificar varias hormonas involucradas en este proceso en los bovinos (Vonderhaar y Ziska, 1989). Entre éstas se destacan la prolactina (Travers *et al.*, 1996; Yang *et al.*, 2005), el

cortisol (Shamay *et al.*, 2000), la hormona del crecimiento (Yang *et al.*, 2005), el IGF-1 (Keys *et al.*, 1997) y la insulina (Bequette *et al.*, 2001, Johnston *et al.*, 2004). Ha sido demostrado, sin embargo, que la interacción entre estas hormonas y entre éstas y algunos nutrientes es más importante que su efecto individual sobre la expresión de los genes de las proteínas lácteas (Choi, Barash y Rhoads, 2004; Molento *et al.*, 2002; Moo, Barash y Rhoads, 2004).

Los mecanismos moleculares que explican estas interacciones podrían encontrarse a nivel de las cascadas de señalización que asocian dichas hormonas con la expresión de los genes de las proteínas lácteas (Rosen, Wyszomierski y Darryl, 1999; Vonderhaar y Ziska, 1989). Estas vías de señalización están bien descritas en el caso de la prolactina (Stoecklin *et al.*, 1997) y los glucocorticoides (Gupta y Lalchandama, 2002); así como, la interacción entre estas dos hormonas a nivel de las rutas de señalización (Rosen, Wyszomierski y Darryl, 1999; Stoecklin *et al.*, 1997). En el caso de las demás hormonas esta interacción es aún muy confusa lo mismo que su interacción con nutrientes.

Lo anterior sugiere la necesidad de indagar por el estado energético y proteico de las vacas lactantes en hatos especializados durante diferentes fases de la lactancia; así como, sobre el efecto que tienen algunos componentes del manejo alimenticio y nutricional tales como la oferta forrajera, la edad de la pastura y el nivel y calidad de los suplementación alimenticia, sobre el estado energético y proteico de la vaca, la expresión de genes de las proteínas lácteas y el contenido de proteína en la leche.

Bibliografía

Abreu A. y Petri H.A. 1998. Uso del MUN (Nitrógeno ureico en leche) para diagnosticar balance proteína - energía en la dieta de vacas lecheras Holstein en pastoreo en el altiplano cundiboyacense. Trabajo de grado Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. 134 p.

- Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea de Antioquia. 2001. Colección documentos IICA. Serie Competitividad No. 20. Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia, Medellín. 75 p.
- Bargo, F.; Muller L.D.; Kolve, E.S. and Delahoy, J.E. 2003. Invited review: production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86:1-42.
- Barroso, A.; Dunner, S. and Cañón, J. 1998. Technical note: detection of bovine Kappa-casein variants A, B, C, and E by means of polymerase chain reaction-single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP). *J. Animal Sci.* 76:1535-1538.
- Bauman, D.E. 2000. Regulation of nutrient partitioning during lactation: homeostasis and homeorhesis revisited. p. 311-328. In: Cronjé, P.B. (ed.). *Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction.* CABI, Oxford. 474 p.
- Bequette, B.J.; Kyle, C.E.; Crompton, L.A.; Buchan, V. and Hanigan, M.D. 2001. Insulin regulates milk production and mammary gland and hind-leg amino acid fluxes and blood flow in lactating goats. *J. Dairy Sci.* 84:241-255.
- Bernal, C. y Montoya, S. 2003. Balance energético y protéico en vacas al inicio de la lactancia y su relación con el estado metabólico. Trabajo de grado Zootecnia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 85 p.
- Caro, F. y Correa, H.J. 2006. Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livest. Res. Rural. Dev.* 18 (Article 10): Online Journal.
- Carulla J. E., Cárdenas E., Sánchez N. y Riveros C. 2004. Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana. p. 21-38. En: *Memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases nutricionales y su impacto en la productividad. Eventos y Asesorías Especializadas,* Auditorio de la Salud, Hospital General de Medellín. Septiembre 1 y 2. Medellín, Colombia.
- Castro G. 2004. Precios de COLANTA benefician a ganaderos, a la ganadería y a Colombia. *Rev. Ecolanta.* (210):6-7.
- Choi, K. M.; Barash, I. and Rhoads, R.E. 2004. Insulin and prolactin synergistically stimulate β -casein messenger ribonucleic acid translation by cytoplasmic polyadenylation. *Mol. Endocrinol.* 18(7):1670-1686.
- COLACTEOS. 2006. XXXIII Asamblea General Ordinaria. Pasto, Nariño. 98p.
- Correa, H.J. y Cuellar, A. 2004. Aspectos claves del ciclo de la úrea con relación al metabolismo energético y protéico en vacas lactantes. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 17(1):29-38.
- Correa H.J. 2006. Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. *Livest. Res. Rural. Dev.* 18 (Article 3): Online Journal.
- Coulon, J.B.; Hurtaud, C.; Remond, B. and Verite, R. 1998. Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows' milk true protein: a review of recent INRA experiments. *J. Dairy Res.* 65: 375-387.
- González, C. y Correa, H.J. 2007. Factores nutricionales y alimenticios que afectan la producción de leche y el contenido de proteína en la leche, en hatos especializados de Antioquia. *Despertar Lechero* 28:18-30.
- Griinari, J.M.; Mcguire, M.A.; Dwyer, D.A.; Bauman, D.E.; Barbano, D.M. and House, W.A. 1997. The role of insulin in the regulation of milk protein synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:2361-2371.
- Gupta, B.B.P. and Lalchandama, K. 2002. Molecular mechanisms of glucocorticoid action. *Curr. Sci.* 83 (9): 1103-1111.

- Hanigan, M.D.; Crompton, L.A.; Metcalf, J.A. and France, J. 2002. Modelling mammary metabolism in the dairy cow to predict milk constituent yield, with emphasis on amino acid metabolism and milk protein production: model evaluation. *J. Theor. Biol.* 217(3): 311-330.
- Hughes, C.G and Gray, I.K. 2005. Chemical analysis in the New Zealand dairy industry. Food Science Section, Dairy Res. Inst. New Zealand.
- Jenkins, T.C. and McGuire, M.A. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302-1310.
- Johnston, S.L.; Kitson, K.E.; Tweedie, J.W.; Davis, S.R. and Lee, I.J. 2004. γ -Glutamyl transpeptidase inhibition suppresses milk protein synthesis in isolated ovine mammary cells. *J. Dairy Sci.* 87:321-329.
- Keys, J.E.; Van Zyl, J. P. and Farrell, Jr.H.M. 1997. Effect of somatotropin and insulin-like growth factor-I on milk lipid and protein synthesis *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 80:37-45.
- Londoño, E.; Toro, M.M. y Santa, N.I. 2005. Calidad de la leche cruda de los proveedores del oriente antioqueño. Monografía de grado, Especialización en Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. 45 p.
- Mackle, T.R.; Bryant, A.M.; Petch, S.F.; Hooper, R.J. and Auldish, M.J. 1999. Variation in the composition of milk protein from pasture-fed dairy cows in late lactation and the effect of grain and silage supplementation. *New Zeal. J. Agr. Res.* 42(2):147-154.
- Mackle, T.R.; Dwyer, D.A. and Bauman, D.E. 2000. Intramammary infusion of insulin or long R³ insulin-like growth factor-I did not increase milk protein yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:1740-1749.
- Meneses, L. 2005. Evaluación del contenido de proteína y la calidad higiénica de la leche, proveniente de hatos localizados en dos regiones lecheras de Antioquia. Informe de Pasantía de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 20 p.
- Metwalli, A.A.M. and Van Boekel, M.A.J.S. 1996. Effect of urea on heat coagulation of milk. *Ned. Melk Zui.* 50(3):459-476.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2007. Resolución 0012, sistema de pago de la leche cruda al productor. Bogotá. 2 p.
- Molento, C.F.M., Block E.; Cue, R.I. and Petitclerc, D. 2002. Effects of insulin, recombinant bovine somatotropin, and their interaction on insulin-like growth factor-I secretion and milk protein production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:738-747.
- Moo Choi, K.; Barash, I. and Rhoads, R.E. 2004. Insulin and prolactin synergistically stimulate b-casein messenger ribonucleic acid translation by cytoplasmic polyadenylation. *Mol. Endocrinol.* 18(7):1670-1686.
- Murphy, J.J. and O'Mara, F. 1993. Nutritional manipulation of milk protein concentration and its impact on the dairy industry. *Livest. Prod. Sci.* 35: 117-134.
- Osorio, F. 2004. Efecto del manejo alimentario sobre el sistema especializado de producción lechera. 141-152. En: Memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad. Eventos y Asesorías Agropecuarias, Auditorio de la Salud, Hospital General de Medellín, Septiembre 1 y 2. Medellín, Colombia.
- Palmquist, D.L. and Moser, E. 1981. Dietary fat effects on blood insulin, glucose utilization and milk protein content of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64(8): 1664-1670.
- Pérez, J. 2000. Cooperativa COLANTA exportadora; Cooperativa COLANTA, Informe y balance 1999. Medellín.
- Rosen, J.M.; Wyszomierski, S.L. and Darryl, H. 1999. Regulation of milk protein gene expression. *Annu. Rev. Nutr.* 19: 407-436.

Shamay, A.; Shapiro, F.; Barash, H.; Bruckental, I. and Silanikove, N. 2000. Effect of dexamethasone on milk yield and composition in dairy cows. *Ann. Zootech.* 49: 343-352.

Stoeklin, E.; Wissler, M.; Moriggi, R. and Groner, B. 1997. Specific DNA binding of stat5, but not of glucocorticoid receptor, is required for their functional cooperation in the regulation of gene transcription. *Mol. Cell. Biol.* 17 (11): 6708-6716.

Taverna, M.A. 2003. Composición química de la leche argentina: fortalezas, debilidades y oportunidades Public. Miscelánea N° 98, EEA Rafaela del INTA, p. 1-12.

Torres, I. y Carulla, J.E. 2003. Variaciones en la composición de la leche en la sabana de Bogotá, valles de Ubaté y Chiquinquirá en los años 1997 a 1999. *Rev Col. Cienc. Pec.* 16 (Suplemento): 69.

Travers, M.T.; Barber, M.C.; Tonner, E.; Quarrie, L.; Wilde, C.J. and Flint, D.J. 1996. The role of prolactin and growth hormone in the regulation of casein gene expression and mammary cell survival: relationships to milk synthesis and secretion. *Endocrinology.* 137(5): 1530-1539.

Uribe, H.A. y Smulders, J.P. 2004. Estimación de parámetros y tendencias fenotípicas, ambientales y genéticas para características de producción de leche en bovinos overos colorados. *Arch. Med. Vet.* 36(2): 137-146.

Verdier-Metza, I.; Coulomb, J.B. and Pradelc, P. 2001. Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Anim. Res.* 50:365-371.

Vonderhaar, B.K. and Ziska, S.E. 1989. Hormonal regulation of milk protein gene expression. *Annu. Rev. Physiol.* 51:641-652.

Yang, J.; Zhao, B.; Baracos, V.E. and Kennelly, J.J. 2005. Effects of bovine somatotropin on β -casein mRNA levels in mammary tissue of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 88:2806-2812.

Walker, G.P.; Dunshea, F.R. and Doyle, P.T. 2004. Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Aust. J. Agr. Res.* 55(10):1009-1028.

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA DINÁMICA FOLICULAR BOVINA CON ÉNFASIS EN *Bos indicus*. Guillermo Henao Restrepo¹

¹ Profesor Titular. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. E-mail: ghenao@unalmed.edu.co

De los 23 millones de cabezas de bovinos existentes en Colombia el 72% pertenece a la especie *Bos indicus*. Su cría se ha desarrollado principalmente bajo el sistema de producción extensivo con un comportamiento productivo cuestionado debido a los bajos niveles de productividad. El Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (PEGA), FEDEGÁN (2006), enfoca el enfrentamiento de los niveles bajos de productividad y competitividad en los próximos 12 años mediante la aplicación de diferentes estrategias que incluyen el mejoramiento de los programas nutricionales, la aplicación masiva de planes sanitarios, la retención de hembras y el incremento de la aplicación de tecnologías como la inseminación artificial, la superovulación, la aspiración folicular, la maduración y fertilización *in vitro* de oocitos, el cultivo *in vitro* de embriones, la transferencia de embriones, la transformación genética por transgénesis y la clonación de individuos mejorados. Los avances vertiginosos alcanzados en el conocimiento de la fisiología de la reproducción en los últimos años, favorecidos por el empleo de técnicas de biología molecular, ultrasonografía, radioinmunoanálisis, inmunohistoquímica y otras, han mejorado la eficacia del desarrollo de biotecnologías reproductivas aplicadas a la industria de la producción animal. Con el apoyo de estas técnicas ha sido posible realizar estudios importantes sobre las variaciones que puede presentar la dinámica folicular en *B. taurus* y *B. indicus*. El propósito de este informe es hacer una revisión sobre la función

reproductiva teniendo en cuenta las diferencias de la dinámica folicular entre estados fisiológicos y condiciones ambientales de hembras bovinas con énfasis en *B. indicus*, con el fin de favorecer la aplicación de biotecnologías reproductivas a los animales de valor genético y comercial importante para obtener la mayor cantidad de descendientes en el menor tiempo posible.

Eficiencia de la reproducción bovina. La eficiencia reproductiva es una expresión compleja de la fertilidad en cuya manifestación intervienen muchas funciones fisiológicas que interactúan en forma sincronizada. La eficiencia de la reproducción del ganado es muy dependiente del comportamiento reproductivo de las hembras (Webb *et al.*, 1999), las cuales tienen una constitución orgánica adecuada para parir cada año (Henao, 2001). Para que las vacas manifiesten este potencial reproductivo deben quedar gestantes dentro de los primeros 85 días posparto y sostener una gestación normal (Short *et al.*, 1990; Lishman e Inskeep, 1991). La expresión de la eficiencia reproductiva bovina es dependiente del sistema de producción, que está relacionado con el conocimiento sobre la función reproductiva.

Dinámica folicular. La dinámica folicular ovárica bovina ha sido muy estudiada a través de técnicas de ultrasonografía y de medición de niveles hormonales, mostrando variaciones que dependen de la genética, el clima, la nutrición o el sistema de producción. La teoría de crecimiento folicular en forma de ondas fue propuesta originalmente por Rajakoski (1960). Esta teoría fue puesta en duda por más de 20 años, durante los cuales, se realizaron múltiples experimentos con resultados contradictorios sobre la naturaleza del crecimiento folicular. El conocimiento de las ondas de desarrollo folicular y su regulación tiene gran trascendencia práctica y permite predecir de una manera bastante exacta la respuesta de las vacas a los diferentes métodos de control hormonal del ciclo.

La mayoría de los ciclos estrales bovinos están compuestos de dos o tres ondas de crecimiento folicular. En ambos tipos de ciclos la emergencia de la primera onda folicular ocurre el día de la

ovulación (día 1). La emergencia de la segunda onda ocurre el día nueve o diez en ciclos de dos ondas y el día 8 en ciclos de tres ondas. En éstos últimos la tercera onda emerge entre los días 15 y 16. En ciclos de dos ondas el cuerpo lúteo inicia la regresión más temprano que en los de tres ondas, lo que conduce a presentación de ciclos más cortos.

Dinámica folicular bovina con énfasis en *Bos indicus*. Durante el período prepuberal de hembras *B. indicus* se desarrollan ondas foliculares similares a las que se presentan durante esta etapa del desarrollo en *B. taurus*, fenómeno que cambia al iniciarse la pubertad, manifestándose con la presencia de dos (26,5%), tres (66,7%) o cuatro (6,8%) ondas foliculares por ciclo (Rhodes, D' Ath y Entwistle, 1995). En novillas cruzadas Holstein x Cebú se encontró una predominancia de tres ondas de crecimiento folicular por ciclo (58,3%) frente a dos ondas (33,3%). Durante un ciclo estral las vacas Brahman pueden desarrollar una (6,7%), dos (90,0%) o tres (3,3%) ondas de crecimiento folicular (Roa *et al.*, 2006), mientras que las vacas del mismo grupo racial estudiadas por Zeitoun, Rodriguez y Randel (1996) presentaron dos (38%), tres (56%) o cuatro (9%) ondas foliculares por ciclo.

En las vacas Brahman alojadas bajo condiciones de trópico húmedo de Australia, el ciclo estral presentó una duración de $20,9 \pm 0,16$ días (Rhodes, D' Ath y Entwistle, 1995) y en el trópico mexicano su duración fue de $20,5 \pm 0,2$ días (Villagómez *et al.*, 2000), mientras que en el trópico venezolano su duración fue de $22,20 \pm 2,65$ días.

La tasa de crecimiento de los folículos dominantes en vacas Brahman con y sin amantamiento alojadas bajo condiciones de clima tropical seco fue de $0,9 \pm 0,2$ mm/día y $0,7 \pm 0,1$ mm/día, respectivamente (Henao *et al.*, 2000a), mientras que en vacas Guzerá sin ternero la tasa de crecimiento para los folículos dominantes de la primera, segunda y tercera ondas foliculares fue de $1,33 \pm 0,09$, $0,87 \pm 0,08$ y $1,09 \pm 0,1$ mm/día, respectivamente (Coutinho *et al.*, 2007), similar a la de vacas Nelore, $0,89 \pm 0,1$, $0,79 \pm 0,08$ y $1,06 \pm 0,07$ mm/día (Figueiredo *et al.*, 1997) y Gir

1,03±0,24, 1,07±0,27 y 1,08±0,26 (Moreira *et al.*, 2000). El diámetro máximo de los folículos dominantes en el ganado *B. indicus* es menor que el que se presenta en *B. taurus* y esto parece obedecer a una respuesta genética, fluctuando entre 10 y 12 mm. El número de folículos >2 mm reclutados por cohorte en novillas Nelore y Gir

sincronizadas con prostaglandinas, progestágenos y estradiol, fue de 33,4±3,2 (Carvalho *et al.*, 2008), similar a 39±4 reportado por Álvarez *et al.*, (2000) y significativamente mayor ($P>0,05$) que el de las cohortes de ganado *B. taurus* X *B. indicus* (29,6±2,5) y de *B. taurus* (25,4±2,5) (Carvalho *et al.*, 2008).

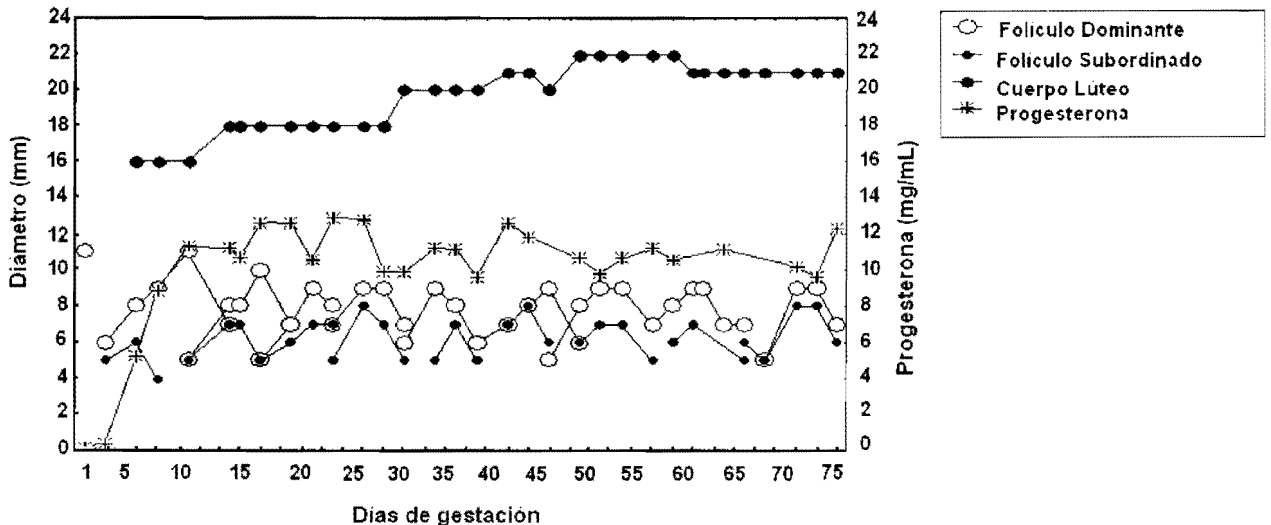


Figura 1. Dinámica folicular de una vaca Brahman durante la gestación temprana (Henao y Trujillo, 2003).

Durante los primeros tres meses de la gestación bovina, los ovarios continúan desarrollando ondas foliculares sucesivas con atresia del folículo dominante (Henao *et al.*, 2000b), pero durante el último tercio de la gestación el crecimiento de folículos antrales no alcanzan la madurez (Rexroad y Casida, 1975). La dinámica folicular durante los primeros 60 días postparto de vacas Brahman amamantando (Henao *et al.*, 2002) se caracterizó por un desarrollo precoz de ondas foliculares conformadas por cohortes de 6,0±0,4 folículos ≥ 4 mm de diámetro. El folículo dominante creció a una tasa de 0,9±0,3 mm/día, hasta alcanzar un diámetro de 11,0±1,0 mm. El folículo

subordinado mayor alcanzó un diámetro de 6,7±0,7 mm. La duración promedio de las ondas foliculares fue de 9,6±2,7 días (Figura 1).

Durante el primer ciclo estral posparto las vacas Brahman sin amamantamiento presentaron una (40%) o dos (60%) ondas foliculares mientras que las que estaban amamantando presentaron dos (71,4%) o tres (28,5%) ondas foliculares. Cuando las vacas Brahman anéstricas amamantando se someten a supresión temporal del amamantamiento se presentan cambios en su dinámica folicular que conducen a la presentación de la ovulación (Figura 2) (Henao y Trujillo, 2003).

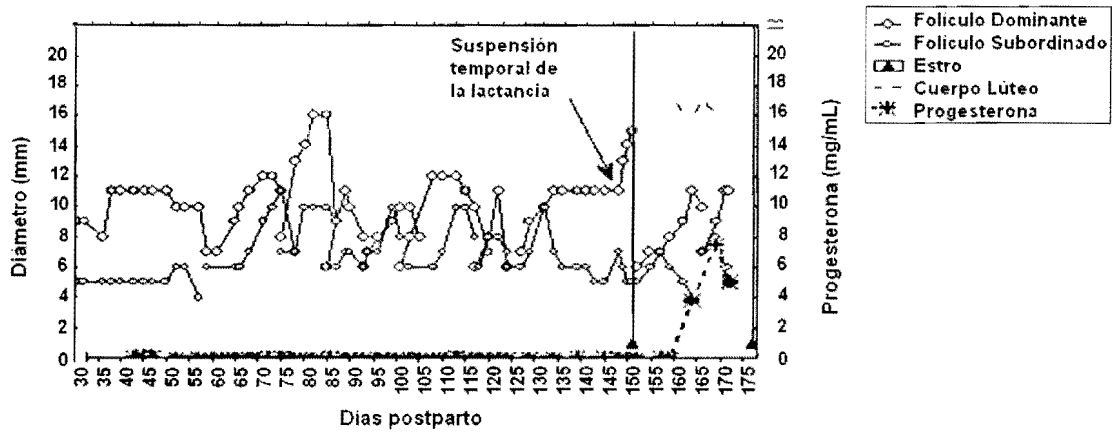


Figura 2. Dinámica folicular postparto de una vaca Brahman con suspensión temporal del amamantamiento (Henao *et al.*, 2000b).

Las vacas Brahman primerizas desarrollaron ondas foliculares a partir de la primera semana postparto (Henao y González, 2008) (Figura 3). Durante los primeros 60 días postparto en cada vaca se presentaron $7,6 \pm 1,98$ ondas foliculares. En cada onda folicular el número promedio de

folículos ≥ 3 mm fue $15 \pm 7,8$. Los folículos dominantes crecieron a una tasa de $1,3 \pm 0,4$ mm/día, alcanzaron un diámetro de $10,7 \pm 1,7$ mm y presentaron un intervalo interdancia de $7,2 \pm 3,5$ días. Los folículos subordinados mayores alcanzaron un diámetro máximo de $7,03 \pm 1,4$ mm.

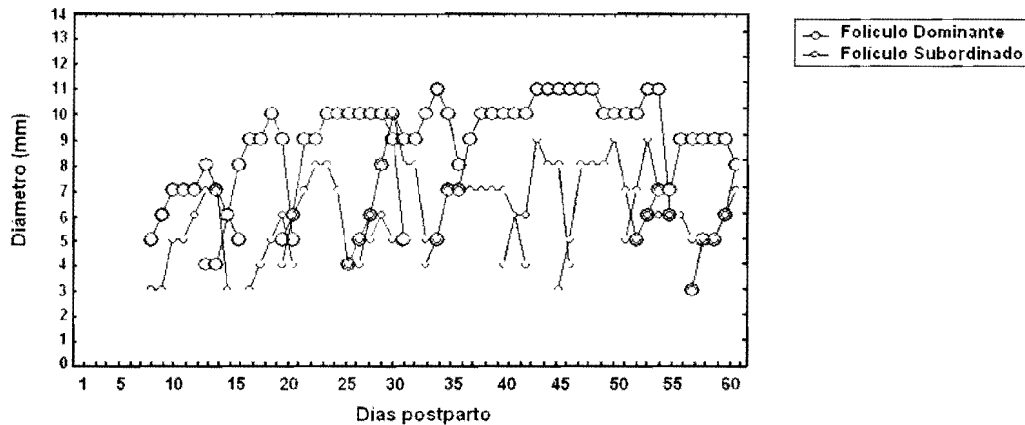


Figura 3. Dinámica folicular de una vaca Brahman primeriza durante los primeros 60 días del periodo postparto (Henao y González, 2008).

Bibliografía

Alvarez, P.; Spicer, L.J.; Chase Jr., CC.; Payton, M.E.; Hamilton, T.D.; Stewart, R.E.; Hammond, A.C.; Olson, T.A. and Wettemann, R.P. 2000. Ovarian and endocrine characteristics during an

estrous cycle in Angus, Brahman and Senepol cows in a subtropical environment. *J. Animal Sci.* 78 (5):291-1302.

Carvalho, J.B.P.; Carvalho, N.A.T.; Reis, E.L.; Nichi, M.; Souza, A.H. and Baruselli, P.S. 2008.

- Effect of early luteolysis in progesterone-based times AI protocols in *Bos indicus*, *Bos indicus* x *Bos taurus*, and *and Bos taurus* heifers. *Theriogenology* 69(2):167-175.
- Coutinho, G.T.R.M.; Viana, J.H.M.; Sá, W.F.; Camargo, L.S.; Ferreira, A.M.; Palhão, P.M. e Nogueira, L.A.G. 2007. Avaliação ultra-sonográfica da dinâmica folicular e lútea em vacas da raça Guzará. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59(5):1089-1096.
- Federación Colombiana de Ganaderos. 2006. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. FEDEGAN, Bogotá. 294 p.
- Figueiredo, R.A.; Barros, C.M.; Pinheiro, O.L. and SOLE, J.M.P. 1997. Ovarian follicular dynamics in Nelore breed (*Bos indicus*) cattle. *Theriogenology* 47(8):1489-1505.
- Henao, G; Olivera A.M. and Maldonado J.G. 2000a. Follicular dynamics during postpartum anestrus and the first estrous cycle in sukled or non-sukled Brahman (*Bos indicus*) cows. *Anim. Reprod. Sci.* 63:127-136.
- Henao, G.; Trujillo, L.E. y Vásquez, J.F. 2000b. Cambios en la dinámica folicular de vacas Cebú anéstricas sometidas suspensión temporal de la lactancia. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 13(2):121-129.
- Henao, G. 2001. Reactivación ovárica postparto en bovinos. Revisión. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 54 (1):1441-1456.
- Henao, G.; Trujillo, L.E. y Vasquez, J.F. 2002. Actividad ovárica postparto de vacas Cebú en amamantamiento. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 55(1):1285-1302.
- Henao, G. y Trujillo, L.E. 2003. Dinámica folicular durante la gestación temprana: estudio de un caso en *Bos indicus*. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 56(1): 1779-1788.
- Henao, G. y González, V. 2008. Relación de la variación del peso vivo y de la condición corporal con la dinámica folicular posparto en vacas cebú primerizas. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* Artículo en prensa.
- Lishman, A.W. and Inskeep E.K. 1991. Deficiencies in luteal function during reinitiation of cyclic breeding activity in beef cows and heifers. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 21(2):59-76.
- Moreira V., J.H.; De Moraes F., A.; Ferreira De Sa, W; De Almeida C., L.S. 2000. Follicular dynamics in zebu cattle. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 35(12): 2501-2509.
- Rajakoski. E. 1960. The ovarian follicular system in sexually mature heifers with especial referente to seasonal, cyclical, and left-right variations. *Acta Endocrinol. Copenh. Suppl.* 52:7-68.
- Rexroad, C.E. and Casida, L.E. 1975. Ovarian follicular development in cows, sows and ewes in different stages of pregnancy as affected by number of corpora lutea in the same ovary. *J. Anim. Sci.* 41(4):1090-1097.
- Rhodes, F.M.; D' Ath G. and Entwistle, K.W. 1995. Animal and temporal effects on ovarian follicular dynamics in Brahman heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 38:265-277.
- Roa, N.; Linares, T.; DIAZ, T. *et al.* 2006. Ondas foliculares ováricas en vacas Brahman y mestizas (*Bos indicus* x *Bos taurus*), ubicadas en los llanos centrales venezolanos. *Zoot. Trop.* 24(3):297-306.
- Short, R.E.; Bellow, R.A.; Staigmiller, R.B.; Berardinelli, J.G. and Custer, EE. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:799-816.
- Villagómes, E.; Castillo, H.; Villa-Godoy, A.; Román, H. y Vásquez. C. 2000. Influencia estacional sobre el ciclo estral y el estro en hembras cebú mantenidas en clima tropical. *Téc Pecu Méx.* 38(2):89-103.
- Webb, R.; Gosden, R.G.; Telfer, E.E. and Moor, R.M. 1999. Factors affecting folliculogenesis in ruminants. *Anim. Sci.* 68:257-284.

Zeitoun, M.; Rodriguez H. F. and Randel, R. D. 1996a. Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Therigenology* 45(8):1577-1581.

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y LA GANADERÍA: EFECTOS Y POSIBILIDADES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN. *Luis Alfonso Giraldo Valderrama*¹; *Lorena Quiroga Medina*²; *Sebastián Benítez Henao*²; *Anderson Córdoba Alzate*²

¹ Profesor Titular. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. E-mail: lagirald@unalmed.edu.co

² Estudiantes Carrera de Zootecnia. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Grupo de Investigación Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo (BIORUM).

El cambio climático ya es una realidad (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2007) ya se han publicado muchos estudios sobre la evidencia científica, los posibles escenarios futuros, las consecuencias potenciales y las medidas de mitigación y adaptación (Comité de las Organizaciones Profesionales Agrarias de la Unión Europea - Confederación General de las Cooperativas Agrarias de la Unión Europea - COPA-COCEGA, 2003; Darwin, 2004; Rosenzweig *et al.*, 2004; IPCC, 2007).

Las actividades humanas están causando un incremento de gases en la atmósfera, que tienden a alterar el balance de energía terrestre y tiene como consecuencia una alteración de las temperaturas regionales y los regímenes hídricos. Observaciones de series históricas de la temperatura media anual en la superficie terrestre sugieren que el cambio climático es una realidad. Es importante tener en cuenta que las alteraciones climáticas no son uniformes en todas las regiones, y que por tanto, el cambio climático tiene distintas implicaciones regionales.

Es aceptado, que el cambio climático es real y tiene fuerte relación con las actividades humanas; se aceptan sus efectos sobre el promedio y la variación de la temperatura ambiente, la precipitación, la distribución e incidencia de plagas y

enfermedades (incluyendo especies pecuarias como para humanos), en los ecosistemas y hábitats marinos y terrestres, en la temperatura del mar, las corrientes marinas y sobre la biodiversidad.

Los efectos del cambio climático afectarán al sector agropecuario de muchas maneras. En general sus efectos en la producción global podrían ser beneficiosos, especialmente cuando se incluyen las zonas templadas en el análisis, en un rango de aumento de la temperatura promedio de 1 a 3 grados, pero perjudiciales si el aumento de temperatura es mayor que el indicado. La latitud es un factor modulador del impacto del cambio climático y sus efectos pueden ser ligeramente positivos en el rendimiento de cultivos (con un aumento en la temperatura) en latitudes medianas y altas, pero se estima que serán perjudiciales en latitudes bajas (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria - Fontagro, 2008).

Efectos de la ganadería en el cambio climático. En el decenio de 1990, la superficie forestal mundial se redujo unos 94.000 km² al año, superficie equivalente a la de Portugal. La mayor parte de las tierras desbrozadas y quemadas se destinaron al cultivo y al pastoreo. En América Latina, en particular, casi todas las tierras deforestadas se convirtieron en pastizales para criar ganado en sistemas extensivos de pastoreo. El daño ambiental es, en gran medida irreversible y se percibirá en todo el mundo durante varias generaciones (FAO, 2006).

Durante miles de años, el pastoreo ha dado forma tanto a la cultura humana como al medio ambiente en vastas zonas de pastizales. De la misma manera, los agricultores que crían animales y producen cultivos han modelado los contornos de los ecosistemas agrarios y sus comunidades. Cuando la producción pecuaria aporta un billón de dólares, o más a la economía mundial y emite más de la mitad de algunos de los gases que producen el efecto invernadero, incluso el vegetariano más riguroso percibe las repercusiones económicas y ambientales (FAO, 2006).

Las actividades agrícolas tienen un efecto negativo importante (contribuye con el 15% de la

emisión de gases invernadero o entre el 26 al 35%, si se consideran los efectos de la deforestación) sobre el cambio climático a partir de procesos que tienen que ver con cambios de uso del suelo (por ejemplo bosque a pasturas), la preparación del suelo tiende a liberar CO₂ en grandes cantidades o a reducir su tasa de secuestro al eliminarse la vegetación; el uso intensivo de combustibles e hidrocarburos para la producción pecuaria; el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos; la aplicación de fertilizantes nitrogenados, tanto sintéticos como orgánicos, los cuales causan la liberación de óxidos de nitrógeno (N₂O); el proceso digestivo de los rumiantes libera cantidades significativas de metano; los procesos de radiación y de evaporación sufren alteraciones en suelos descubiertos y el aumento de la distancia entre productores y consumidores genera un mayor uso de energía para el transporte de alimentos e insumos.

Si bien el desarrollo ganadero ha tenido efectos sobre los recursos naturales, la ganadería en sentido amplio juega y debe jugar un papel protagonista en los medios de vida de las comunidades rurales y en el logro de una competitividad respetuosa del ambiente.

Al mejorar la capacidad de adaptación y la elasticidad de los sistemas de producción ganadera al desarrollo sostenible, igualmente disminuirá la vulnerabilidad al cambio climático. Aunque algunas medidas de adaptación al cambio climático ocurren espontáneamente, la adaptación planificada tiene que jugar un papel más preponderante en el futuro. Para ello, es necesario que los países como Colombia, desarrollen políticas de adaptación y mitigación planificada en preparación para los efectos del cambio climático.

Emisiones de bióxido de carbono. Todos los años, la tala y la quema de bosques liberan en la atmósfera miles de millones de toneladas de bióxido de carbono y otros gases que producen el efecto de invernadero. Los expertos estiman que la deforestación causa aproximadamente una cuarta parte de todas las emisiones de carbono producidas por el hombre. Como los árboles

absorben el carbono de la atmósfera y lo convierten en tejido leñoso, la deforestación también contribuye a la acumulación de gases que producen el efecto de invernadero al destruir valiosos "sumideros de carbono". Las pasturas en las que sólo crecen pastos nativos y donde pastan los bovinos absorben considerablemente menos carbono que casi todos los demás sistemas agrícolas, incluidos los pastizales en los que se producen pastos muy vigorosos o arbustos y árboles para proporcionar forrajes y sombra.

Emisiones de metano. Las emisiones de metano producidas por los rumiantes que digieren forrajes fibrosos a nivel mundial suman alrededor del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que la deforestación es responsable del 18% de las emisiones de dióxido de carbono. Algunos resultados de experimentos recientes sugieren que los taninos condensados presentes en leguminosas de zona templada podrían reducir la producción ruminal de metano (Waghorn, Tavendale, y Woodfield, 2002), al igual que con leguminosas tropicales (Hess *et al.*, 2003, 2004).

Pérdida de biodiversidad. En los bosques tropicales viven más de 13 millones de especies distintas, que representan más de dos tercios del total de las plantas y los animales que hay en el mundo. Los expertos estiman que en el curso de un decenio se extingue entre el 2 y el 5% del total de las especies de los bosques lluviosos, debido en gran parte a la pérdida de su hábitat por causa de la deforestación. Los monocultivos de pasturas son inhóspitos para muchas especies de aves e invertebrados, que necesitan hábitats distintos.

Degradación del suelo. Los frágiles suelos forestales sólo pueden sustentar una vida abundante porque las hojas y las ramas que caen proporcionan nutrientes, por la protección que les proporciona el follaje forestal contra el sol ardiente y las lluvias torrenciales, y dado que las estructuras de las raíces evitan la erosión. Cuando ya no hay árboles, el suelo se agota rápidamente. Los pastos nativos ofrecen pocos nutrientes y escasa protección al suelo, y el exceso de pastoreo acelera la pérdida de nutrientes y la erosión.

Contaminación del agua. Los bosques suelen funcionar como purificadores naturales del agua al filtrarse ésta a través del suelo que mantienen firme las complejas estructuras de las raíces de diversas capas de árboles. Sin la protección del follaje y las raíces, el suelo pierde la capacidad de mantener el agua, que a menudo se escurre hacia las corrientes y los ríos. Este nexo entre deforestación y ganadería se presenta con mayor fuerza en América Latina. En América Central, la superficie forestal se ha reducido casi un 40 por ciento en los últimos 40 años. En este mismo período, las áreas de pastoreo y la población ganadera han aumentado aceleradamente.

Cambios en los sistemas de producción ganaderos. Las publicaciones científicas recientes, sugieren la posibilidad de que el cambio climático puede afectar a la frecuencia e intensidad de los extremos del clima (sequías, inundaciones y olas de calor). El número desproporcionadamente elevado de sequías y otros fenómenos climáticos extremos ocurridos durante los últimos cinco años, puede estar correlacionado con el cambio climático en una alta probabilidad (IPCC, 2007).

Las modificaciones de las características climáticas actuales, afectan la distribución de la vegetación natural y la ganadería, puesto que la radiación solar, el agua y la temperatura controlan el crecimiento y la reproducción de las pasturas y forrajes y la disponibilidad de agua. Al mismo tiempo el cambio climático implica modificaciones en los factores clave para la producción ganadera, que tienen especial interés en Latinoamérica: salinización, inundaciones, pérdida de calidad del agua y erosión del suelo.

Los escenarios de cambio climático muestran que la precipitación aumenta en invierno y disminuye entre el 5-15% en verano, lo que da lugar a una disminución de la humedad del suelo en verano entre 15-25% (IPCC, 2007). Se proyecta un incremento de la variabilidad diaria y estacional del tiempo atmosférico, lo que se traduce en Latinoamérica, en un aumento de la frecuencia de sequía y un aumento en la evapotranspiración, poniendo en entredicho la respuesta tanto de pasturas y forrajes como de

animales rumiantes sus adaptaciones a los cambios climáticos extremos y bruscos.

El efecto del cambio climático en los sistemas de producción ganadera, de una zona en particular depende de las características del clima, de los sistemas actuales y de los cambios potenciales. En general hay un gran contraste entre los impactos potenciales en las zonas secas y áridas de Latinoamérica y las regiones ubicadas en la zona andina. Pero algunas consecuencias podrían ser las siguientes:

- Incrementos en la temperatura alargarían la estación de crecimiento de las pasturas y forrajes en regiones donde el potencial esta limitado por las bajas temperaturas (zona andina y las heladas) y por tanto esto podría verse como ventajoso, pero ello implica mayor rapidez en la maduración de los forrajes, y por tanto mayor pérdida de calidad nutritiva que soporte alta productividad animal (leche), puesto que los forrajes desarrollarían tejidos con mayor pared celular, menos digerible por el ganado y con mayor potencial de emisión de metano producto de la fermentación entérica.

- Las altas temperaturas inducen una maduración más temprana de los forrajes y disminuyen el período de llenado de los granos de las semillas con las consiguientes reducciones en la viabilidad y germinación, así como alteraciones en los períodos de latencia, propios de las pasturas tropicales que alterarían los rendimientos de forraje vía cambios fisiológicos.

- En las regiones más cálidas, los efectos podrían ser más marcados debido a la mayor competencia por agua; sin embargo, los resultados dependerán en gran medida de la disponibilidad de agua para la ganadería y de la distribución regional de las lluvias, factores que permanecen inciertos.

- La distribución y proliferación de insectos y malas hierbas se verán favorecidas por las mayores temperaturas y mayor humedad, pero una pastura débil durante una época de sequía puede ser infectada mas fácilmente por los hongos en condiciones anormales, afectando tanta la cantidad

como la calidad del forraje disponible para el ganado, destinado a la producción de leche.

- En un clima distinto al actual y cambiante, las plagas podrían volverse más activas y los productores ganaderos orientados a la producción de leche de calidad, tendrían que usar aún más productos químicos para controlarlas, y esto tendría enormes costes ambientales y de salud.

Los cambios en las variables ambientales, tienen fuertes influencias en los sistemas de producción ganadera de leche predominantes en Latinoamérica, los que están basados primordialmente en el consumo de pasturas por los animales (e.g. gramíneas tropicales) o conocidas como plantas tipo C₄. La disponibilidad de humedad es uno de los factores físicos más determinantes de la tasa de crecimiento de la biomasa forrajera tropical. La temperatura ambiental es otro factor que afecta la tasa de crecimiento del forraje, pero la temperatura óptima (donde muestran la máxima tasa de crecimiento) se presenta entre 35°C en el caso de gramíneas tropicales (Whiteman, 1980). Sin embargo, la radiación solar es el factor físico menos limitante de la producción de biomasa en condiciones tropicales (Giraldo, 1996). En cambio las altas radiaciones y las elevadas temperaturas ambientales causan modificaciones en la cantidad y distribución de tejidos de las pasturas, afectando su calidad, particularmente la digestibilidad. Bajo este panorama, es de esperar que los aumentos de temperatura ambiental debidos al cambio climático causen modificaciones anatómicas o morfológicas que sufren las plantas (p.e. engrosamiento de la epidermis, incremento de los tejidos de soporte y de su grado de lignificación), lo cual resulta en una menor digestibilidad, afectando los niveles de productividad animal y calidad de la leche.

La adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático. El cambio climático tiene efectos directos sobre la productividad de la ganadería, así como indirectamente a través de cambios en la disponibilidad de las pasturas y forrajes. El clima determina el tipo de ganado más adaptado a diferentes zonas agroecológicas y, por lo tanto define que animales son capaces de

sostener la productividad y su eficiencia, esto es particularmente notorio en sistemas de producción de leche. Puesto que los cambios son relativamente lentos, se hace necesario confiar en la continua observación y la experiencia de los productores ganaderos y sus conocimientos locales (FAO, 2007). Económicamente, a más cambios en el clima se pueden aumentar exponencialmente los costos (IPCC, 2001). EN Brasil, el pronóstico más optimista muestra un aumento del costo de crianza de bovinos del 80%, por el aumento de la temperatura ambiental y la mayor incidencia de costos será debida a la alimentación de los animales (Jornal O Estado de Sao Paulo, 2008).

Dependiendo del tipo de razas de animales, estas pueden resistir mejor la evolución de las condiciones ambientales. La mitigación de los efectos negativos de los rumiantes sobre emisiones de gases de invernadero (principalmente metano) a través de la cría de animales, puede ser manipulada mediante cambios en las dietas de rumiantes y del manejo de la carga animal.

A largo plazo las adaptaciones de los sistemas ganaderos son de grandes cambios estructurales para intentar superar la adversidad. Uno de los principales cambios tiene que ver con: el uso del suelo buscando maximizar los rendimientos en virtud de las nuevas condiciones climáticas; la aplicación de nuevas tecnologías; nuevas técnicas de manejo de suelos y de la eficiencia del uso del agua, son todas ellas conexas entre sí. (FAO, 2007). Uno de los principales elementos necesarios en los sistemas ganaderos para su adaptación al cambio climático, es la identificación y promoción de micro-climas beneficiosos tanto para las pasturas como para los animales, además de ofrecer beneficios ambientales, principalmente ofertados por los árboles (FAO 2005). Basados en lo anterior, un marco para la adaptación al cambio climático de los sistemas ganaderos, debe ser dirigida simultáneamente a lo largo de varias temáticas interrelacionadas: manejo de los sistemas ganaderos y en especial el manejo del pastoreo y los forrajes, la integración de la ganadería con los cultivos y la forestaría (Agroforestería) en particular el silvopastoreo, el manejo del agua, la planificación del uso del suelo,

la fertilidad del suelo y los organismos del suelo, elementos ecosistémicos como la composición de las especies, la biodiversidad, la resistencia, los bienes y servicios de ambientales (FAO, 2007). Adicionalmente, los procesos de adaptación al cambio climático deben incentivar el uso de sistemas ganaderos que promuevan la captura de carbono, la sustitución de combustibles fósiles, la promoción del uso de las bioenergías y la integración de las cadenas productivas como el biodiesel y la láctea a través del uso en alimentación de rumiante para la producción de leche de los efluentes provenientes de la obtención de bio-combustibles.

El silvopastoreo podría cumplir con muchos de los requisitos necesarios para ser una alternativa de adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático. Uno de ellos es su efecto positivo en la reducción del estrés calórico en los animales, lo cual favorece el ahorro de energía y mayor consumo de pasto (Hibraim *et al.*, 2006; Giraldo, 2007). El confort térmico se mejora en vacas en pasturas arborizadas ya que presentan una menor tasa respiratoria que aquellas en pasturas sin árboles -65 vs 80 respiraciones por minuto respectivamente (Souza *et al.*, 2000).

En Antioquia el Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo (BIORUM), de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, desde hace once años, estableció diferentes sistemas silvopastoriles en diez sitios del Departamento de Antioquia, con distintos arreglos y en diversas situaciones edáficas, altitudinales, climáticas y socioeconómicas. Allí se han evaluado en forma sistemática la producción animal durante varios años y sus posibilidades económicas.

Estos sistemas silvopastoriles piloto han demostrado su potencialidad para mejorar la producción animal en regiones tanto del trópico de altura, como de zonas bajas con distintas fertilidades de suelos y manejo del silvopastoreo. Dicha potencialidad se evidencia por los incrementos en los parámetros de calidad forrajera de las pasturas de piso cuando crecen bajo el dosel de los árboles, representadas en mayor proteína cruda y digestibilidad, menos pared celular.

Adicionalmente se presentan aumentos entre el 4,5-12,3% en la producción de leche/vaca/día, e incrementos en la producción de leche por área de 9-49% dependiendo de la densidad de árboles por hectárea. A pesar de incrementarse la carga animal entre 12,5 y 39%, la compactación del suelo disminuye entre 21 y 57%. Adicionalmente en estos sistemas silvo-pastoriles para la producción intensiva de leche en zonas de altura, los ingresos económicos de los ganaderos se incrementan en 1166 y 3088 \$US/ha para alta y baja densidad de árboles respectivamente por la venta de madera para estacones y se disminuyen los gastos en 219 \$US/ha por la ausencia de aplicaciones de fertilizantes y controles químicos para plagas y enfermedades. La diversidad (número de especies) de avifauna ligada al silvopastoreo se incrementa en un 50%.

En el trópico bajo de Antioquia, los incrementos en producción animal de carne son de entre 18,6-22,6% en la ganancia diaria de peso de novillos, dependiendo de la carga animal, la densidad de árboles y las condiciones adafoclimáticas de las regiones. Ello se refleja en la producción de carne/ha/año que se incrementa entre 80%, al pasar de 314 a 564 kg·ha⁻¹·año⁻¹ y 361% al pasar de 54 a 249 kg·ha⁻¹·año⁻¹. La capacidad de carga se mejora entre 43 y 120%, pero la compactación también disminuye entre 9-38%, dependiendo de la carga animal, la densidad de árboles y la topografía del suelo. Este mejor desempeño en producción animal se debe al menor estrés climático recibido por los animales, debido al microambiente que crea el silvopastoreo. Debido a que bajo el dosel de los árboles la temperatura ambiental es 4,5°C menor que a pleno sol; igualmente la cantidad de radiación solar que reciben los animales en pastoreo a las 12 del mediodía, es mucho más baja (90% menos), cuando pastan en silvopastoreo. Estas dos características ambientales favorables al comportamiento animal, influyen sobre los parámetros fisiológicos debidas al estrés causado por el medio ambiente adverso, así la frecuencia respiratoria es menor en silvopastoreo (30,3 resp/min) en comparación con el área sin árboles 35,5. Ambas situaciones: menor temperatura ambiental y menos radiación solar que reciben los bovinos en

silvopastoreo afectan positivamente el consumo, ya que este fue mayor (2,1% del peso vivo) en el silvopastoreo, respecto al control (sin árboles-2,0%PV). De igual manera, la diversidad (número de especies) de avifauna ligada al silvopastoreo se incrementa en un 75% en las zonas de clima cálido del trópico bajo de Antioquia (Giraldo, 2007).

El stock de carbono capturado en los distintos compartimentos del silvopastoreo (suelos, árboles y pasturas tanto en la parte aérea como radicular), para tres diferentes sitios del trópico alto y bajo en Antioquia, varió entre 66 y 260 tCO₂ equivalentes, dependiendo del sitio y la densidad de árboles. Se resalta como el incremento medio anual (IMA) de carbono en la biomasa aérea de los árboles en el sitio del trópico de altura (2538 msnm) es 31,7% mayor para ambas densidades y 57% más respecto a los sitios de trópico bajo tanto de baja como de alta fertilidad de suelos respectivamente, diferencias debidas a las especies de árboles usadas en cada sitio y a sus condiciones edafoclimáticas (Giraldo, 2007).

Finalmente, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) fue establecido en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto (en vigor desde febrero de 2005), de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Su objetivo es ayudar a los países desarrollados a cumplir con sus metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), establecidas por el Protocolo y a la vez, asistir a los países en desarrollo a alcanzar un desarrollo sostenible. Con el surgimiento de un mercado de reducciones de GEI o de carbono, paralelo a las negociaciones que condujeron a la aprobación del Protocolo de Kyoto y la existencia de una moneda, concretamente tCO₂-e (toneladas de carbono equivalentes) con un precio, la reducción de emisiones de GEI puede generar nuevas fuentes adicionales de ingresos, a través de mecanismos tales como el MDL. Las actividades agroforestales incluyendo el silvopastoreo, se encuentran bien posicionadas para contribuir al doble objetivo del MDL y en última instancia para fomentar el desarrollo rural sostenible. Este potencial podrá materializarse únicamente si los proyectos logran

acceder a los mercados de carbono, donde sus remociones pueden transformarse en fuentes de ingreso para los productores. Los mercados de carbono para proyectos agroforestales son un mercado nicho que está apenas desarrollándose. La captura, la fijación y el monitoreo del carbono, es una información indispensable para desarrollar el potencial de los proyectos silvopastoriles, orientados a generar ingresos provenientes de la comercialización de créditos de carbono a nivel mundial.

Conclusiones

Respecto a los impactos potenciales y la adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Los cambios en el clima probablemente tengan como consecuencia una variación en las zonas de producción óptima de distintos sistemas de producción ganadera. Como consecuencia de los cambios en la zonificación y productividad animal, la posición de los productores ganaderos en Latinoamérica frente a los mercados internacionales puede verse afectada.
- Las proyecciones del cambio climático suponen un incremento de inundaciones y sequías, dependiendo de la época del año y de la zona. Estas variaciones condicionan tanto la productividad animal como el área de distribución e intensidad de las plagas y enfermedades. Los períodos de sequía prolongados también pueden incrementar otras plagas y enfermedades.
- El cambio climático, supone una necesidad de incrementar el uso de productos fitosanitarios que tienen riesgos asociados para la salud pública y el medio ambiente, y gastos económicos para las explotaciones productoras de leche.
- Si el cambio climático continúa intensificándose, los sistemas ganaderos podrían manifestar inestabilidad creciente y alta vulnerabilidad a cambios en las plagas y enfermedades. Ello implica para los productores enfrentarse a una planificación más complicada.

- El silvopastoreo, es una alternativa para la adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático, debido al microambiente favorable para el confort animal que se genera bajo el dosel de los árboles, garantizando la productividad de leche y adicionalmente es una herramienta de mitigación por la mayor captura y fijación de carbono comparado con los sistemas ganaderos tradicionales.

Bibliografía

Comité de las Organizaciones Profesionales Agrarias de la Unión Europea - Confederación General de las Cooperativas Agrarias de la Unión Europea COPA-COCEGA, 2003. Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agricultura and forestry. En: http://www.copa.be/pdf/pocc_03_78i4_1e.pdf.

Darwin, R. 2004. Effects of greenhouse gas emissions on world agriculture, food consumption, and economic welfare. *Climate Change* 66 (1/2):191-238.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. Impact of climate change, pests and diseases on food security and poverty reduction. Special event background document for the 31st Session of the Committee on World Food Security. 23-26 May 2005. FAO, Rome.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Políticas pecuarias 03. Ganadería y deforestación. Informes de la FAO sobre políticas pecuarias. Afrontar las oportunidades y los desafíos del sector pecuario. FAO, Roma, 8 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries. Perspective, framework and priorities. FAO, Rome. 24 p.

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria). 2008. Convocatoria extraordinaria 2008. Términos de referencia. 11p.

Giraldo, L.A. 1996. Manejo y utilización sostenible de pasturas. 3ªed. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 342 p.

Giraldo, L.A. 2007. Potencial del silvopastoreo en el Noroeste de Colombia, para la sostenibilidad productiva y ambiental de la ganadería. En: Memorias II Simposio Internacional Sistemas Agrosilvopastoriles na América do Sul. Novembro 6 e 7. CD Rom. Juiz de Fora/MG (Brasil).

Hess, H.D.; Monsalve, L.M.; Lascano, C.E.; Carulla, J.E.; Díaz, T.E. y Kreuzer, M. 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on *in vitro* ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Austr. J. Agric. Res.* 54: 703-713.

Hess, H.D.; Valencia, F.L.; Monsalve, L.M.; Lascano C.E. y Kreuzer, M. 2004. Effects of tannins in *Calliandra calothyrsus* and supplemental molasses on ruminal fermentation *in vitro*. *J. Anim. Sci. Tech.* 13 (Suppl. 1): 95-98.

Hibraim, M.; Villanueva, C.; Casasola, F. y Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. En: Memorias IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible y III Simposio sobre Sistemas Silvopastoriles para la Producción Ganadera Sostenible. 24-28 de octubre de 2006. Varadero, Cuba.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core

Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Rosenzweig, C.; Strzepek, K. ; Major, D.; Iglesias, A.; Yates, D.; Holt, A. and Hillel, D. 2004. Water availability for agriculture under climate change: five international studies. *Global. Environ. Chang.* 14:345-360.

Waghorn, G.C.; Tavendale, M.H. and Woodfield, D.R. 2002. Methanogenesis from forages fed to sheep. *Proc. New Zeal. Grassl. Assoc.* 64: 167-171.

Whiteman, RC. 1980. *Tropical pasture science.* Oxford Univ. Press. Oxford, U.K. 392 p.

ESTIMACIÓN DEL VALOR GENÉTICO DE TOROS LECHEROS¹. José Julián Echeverri Zuluaga²; Jorge Humberto Quijano Bernal³

¹ Este programa se lleva a cabo con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR– de la República de Colombia en convenio con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA– y es coejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y la Cooperativa COLANTA Ltda.

² Profesor Auxiliar. Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Grupo de Biodiversidad y Genética Molecular – BIOGEM. E-mail: jjcheve@unal.edu.co

³ Profesor Asociado. Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. E-mail: jhquijan@unalmed.edu.co

Estrategias de mejoramiento genético

Los programas de selección en el ámbito mundial han sido revolucionados por la implementación de técnicas moleculares y reproductivas que han llevado a la selección asistida por marcadores genéticos y a la posibilidad de efectuar transferencia de embriones, aumentando la ganancia genética por año debido a la reproducción múltiple de individuos superiores (Legates y Warwick, 1992). Entre los marcadores genéticos asociados a características productivas en el ganado bovino los investigadores han dado pasos importantes en lo concerniente a Kappa caseína, prolactina (PRL), hormona del crecimiento (bGH) y algunos genes

más asociados a la condición sanitaria de la glándula mamaria, estos están relacionados ampliamente con el crecimiento, desarrollo de la glándula mamaria, recuento de células somáticas, producción y composición láctea (Dybus, 2002).

La selección y su impacto en el progreso genético. La ganadería bovina de carne en Colombia, efectúa pruebas genéticas a toros nacionales desde el año 2001 con el fin de incrementar el progreso genético para las características de mayor importancia, en el caso de la lechería solo la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín ha adelantado estudios en este sentido realizando pruebas por pedigree a algunos toros nacionales. Estas pruebas presentan confiabilidades bajas debido a que solo hay hijas en un ható y que se utiliza la información del pedigree únicamente, por esto son pocos toros los que finalmente llegan al mercado disponible para el productor.

Para mejorar la productividad de los hatos en términos de volumen de producción, calidad de leche y eficiencia reproductiva, es necesario utilizar toros que mejoren estas características y que tengan pruebas de progenie en un medioambiente tropical que garantice su confiabilidad, pues las pruebas efectuadas en otras partes del mundo, tienen el sesgo ocasionado por la interacción genotipo-ambiente demostrada por Abubakar, McDowell y Van Vleck (1987); Cerón *et al.* (2001); Galvis (2001) y Quijano y Echeverry (2001).

El pasado cuarto de siglo la evaluación genética en ganado de leche se ha caracterizado por la evolución en la metodología y capacidad computacional, expansión en los recursos tácticos de las características evaluadas y globalización. El modelo animal reemplazó los modelos toro y abuelo materno y más recientemente la aplicación de la teoría Bayesiana comienza a ser la pauta. Observaciones individuales del día de la producción (Test-day) han sido utilizadas más eficientemente en la estimación de la producción por lactancia o directamente como dato en los modelos de evaluación. La velocidad computacional y almacenamiento no son limitantes en la escogencia de los procesos de evaluación. El

incremento en la capacidad de almacenamiento ha soportado la evaluación de características adicionales que afectan el mérito económico neto de las vacas de leche. La importancia de características, además de la producción se ha incrementado.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), evalúa genéticamente diversas características importantes de la raza Holstein. En esta evaluación son incluidos y procesados más de 35 millones de animales. Tal evaluación no sería posible sin los actuales recursos en el área de la informática, sin los métodos de la máxima verosimilitud y sin la adopción de las ecuaciones de modelos mixtos, MME, Mixed Model Equations. Esto posibilita para todos los animales incluidos en el sistema la obtención del valor genético aditivo, DEP, PTA etc. que poseen propiedades BLUP (Mejor predictor lineal no viciado). Los modelos más usuales son: Sire Model (Modelo Toro) que producen PTA y DEP; Model Animal (Modelo Animal) y Reduced Animal Model. (Modelo Animal Reducido) que producen Breeding Values (Valores reproductivos o de cría). Los alcances son notables en este país. Por ejemplo, en 1945 se tenía una producción media de 2.023 kg por vaca por año; alcanzando en 1982 los 5.900 kg. La tasa de mejoramiento genético para producción de leche ha ido aumentando linealmente con el correr de los años. Así, las vacas nacidas en 1986 fueron aproximadamente 135 kg superiores, en valor genético, en producción de leche a las nacidas en 1985. Este éxito es debido, en gran parte, a la masificación de los programas de evaluación genética, donde el número de vacas que participan anualmente en los programas supera los dos millones (Campos, 2001).

Hasta el año 1995, la Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín, en el Centro Agropecuario Paysandú, que desde 1980 evalúa genéticamente los reproductores que van a la central de inseminación artificial y los sementales de la raza Lucerna en el Valle, pueden considerarse como pioneros en Colombia en un intento para conocer el valor genético de sus reproductores (Martínez, 1997).

La evaluación genética consiste en la predicción del mérito genético de un animal, considerando todas las fuentes de información (propias, de sus ancestros, descendientes o colaterales), de caracteres productivos, reproductivos, de conformación o calidad del producto.

Las evaluaciones genéticas son una de las herramientas empleadas en la actualidad a nivel mundial para lograr el avance de la producción pecuaria. Sin embargo, en Colombia la ganadería de leche carece de programas regionales o nacionales de evaluación genética y generalmente recurre a la importación genética probada en otras latitudes, desconociendo la problemática relacionada con la interacción genotipo-ambiente.

La manera en que se representa el mérito genético de un animal es predicho a través del valor genético. El valor genético se representa en las unidades de la característica que se evalúa que pueden ser kilogramos de leche o puntos lineales de conformación.

Un animal transmite a su descendencia la mitad de sus genes, por lo que se estima que en promedio, los hijos reciben la mitad del valor genético que posee cada uno de sus padres. De esta manera, la habilidad predicha de transmisión es la mitad del valor genético de un animal y representa la diferencia que se espera observar, en promedio, en el comportamiento de la descendencia de un animal respecto a la descendencia de cualquier otro animal en la población evaluada (Ruiz, 2001).

Para la predicción de los valores genéticos, a partir de los cuales se calcula la habilidad predicha de transmisión para producción de leche, porcentaje de grasa y rasgos de conformación existen varios tipos de modelos. Los más comunes son el modelo toro, el modelo toro-abuelo materno, el modelo toro-vaca, el modelo animal y el modelo animal reducido. La decisión de cual modelo utilizar va a depender de los objetivos del investigador, del tipo y volumen de las informaciones y de los recursos computacionales disponibles. Los dos modelos más comúnmente

usados en las evaluaciones genéticas de animales son el modelo toro y el modelo animal.

Interacción genotipo-ambiente. Referente a la correlación genotipo-ambiente en ganado de leche, la de tipo 3 (pequeñas diferencias genéticas y grandes diferencias ambientales), según la clasificación de Dunlop (1962), puede ocurrir en Colombia como consecuencia de la importación de semen de países de la zona templada (con estaciones), como Estados Unidos (62,4%), Canadá (19,9%) y algunos países europeos, Francia (3,8%), Holanda (3,6%), Alemania (3,5%) y Noruega (0,3%) de las razas Holstein y Jersey especialmente, para un promedio anual de 309.347 dosis. (Memorias del taller de reproducción e inseminación artificial, 2006).

El tema de la interacción genotipo-ambiente, tratado por la FAO (2002), en que la superioridad /clasificación genética de los animales depende del medio ambiente en que se encuentran, fue examinado en dos contextos diferentes: 1) la importación por países en desarrollo de material genético seleccionado en países desarrollados y 2) los programas de mejoramiento genético de los países en desarrollo. Referente al primer punto, señalan que los expertos de los países desarrollados solían preconizar la utilización de razas exóticas para los países en desarrollo, estrategia que a menudo fracasaba porque los animales no estaban genéticamente adaptados al nuevo medio. Referente al punto 2, se propone seleccionar los animales en el medio ambiente normal de producción y evaluar nuevos rasgos en condiciones comerciales fuera de las estaciones experimentales.

La literatura reporta la presencia de la interacción entre países templados y tropicales. (McDowell *et al.*, 1976; Madalena, *et al.*, 1983; Powell, Wiggans y Plowman, 1990; Cienfuegos-Rivas *et al.*, 1999).

En Colombia existen cuatro trabajos en bovinos de leche, donde se ha estudiado la interacción genotipo-ambiente. El primero es de Abubakar *et al.* (1987), donde estudiaron el valor genético de toros para producción de leche, eficiencia

reproductiva y longevidad de la raza Holstein en Colombia y México. El valor genético de 17 toros de Estados Unidos con progenie en Colombia y México varió de 365 kg a -368 kg en México y de 313 kg a -229 kg en Colombia. La correlación genética entre los valores entre México y Colombia fue de 0,26. La producción media de leche en la primera lactancia fue de 7.082 kg en México y 5.071 kg en Colombia. Estos resultados evidencian la presencia de la interacción genotipo-ambiente.

El segundo trabajo es el de Cerón *et al.* (2001), donde se investigó la existencia de la interacción genotipo-ambiente en cuatro regiones de Colombia. Las informaciones se tomaron de registros de ganado Holstein de Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia y Nariño. Se observaron diferentes varianzas genéticas, ambientales permanentes y residuales entre las regiones, pero las heredabilidades y repetibilidades fueron similares. La interacción genotipo-ambiente existió principalmente entre Cundinamarca y las otras tres regiones.

El trabajo de Galvis (2001), donde estimó la correlación genética entre los valores reproductivos de algunos toros Holstein estimados en Estados Unidos y calculados en las condiciones en el Centro Agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. El valor de la correlación genética hallado fue de 0,42 ($P < 0,0001$). Este valor es considerado como indicador de la existencia de la interacción genotipo-ambiente según Carabaño *et al.* (1990), los cuales consideran que correlaciones cercanas a 1,0 indican poca evidencia de la interacción, mientras que valores cercanos a 0,6 o menores, indican evidencia de alguna forma de interacción genotipo -ambiente. El valor registrado de 0,42, indica que puede ocurrir una reclasificación (reranking) de toros entre los Estados Unidos y Colombia (Centro Agropecuario Paysandú).

Finalmente, Quijano y Echeverry (2001), al comparar los valores de cría de toros extranjeros y su valor genético estimado en Colombia para porcentaje de proteína, presentaron grandes diferencias posiblemente debido a la interacción genotipo-ambiente.

Estos trabajos indican la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento genético en las condiciones tropicales con base en los recursos genéticos ya existentes y controlar el ingreso de tantas razas exóticas cuyas posibilidades de presentar desempeños satisfactorios en Colombia son escasas.

Según Obando y Martínez (1998), el promedio de pajillas importadas anualmente durante el período 1992-1996 fue de 303.000. Señalan además que "teniendo en cuenta que la mayoría del semen importado proviene de países con estaciones, con sistemas de producción diferentes a los imperantes en nuestras condiciones tropicales y que las interacciones entre genotipo y ambiente han sido ampliamente corroboradas, cabe preguntar si debemos continuar adaptando tecnologías inapropiadas y/o si el camino a seguir es desarrollar nuestra propia industria de la inseminación artificial, con base en sementales colombianos, propiamente evaluados desde el punto de vista genético, de tal manera que nos permita asegurar el incremento productivo con base en animales adaptados a nuestros sistemas de producción."

Bibliografía

- Abubakar, B.Y., McDowell, R.E. y Van Vleck., L.D. 1987. of genotype and environment for breeding efficiency and milk production of Holsteins in Mexico and Colombia. *Trop. Agric. (Trinidad)* 64: 17-22.
- Campos Pereira, Jonas Carlos. 2001. *Melhoramento genético aplicado a produção animal*. 3a ed. FEPMVZ Editora, Belo Horizonte. 253 p.
- Carabaño, M.J., K.M. Wade and D. Van Vleck. 1990. Genotype by environment interactions for milk and fat production across regions of the United States. *J. Dairy Sci.* 73:173-180.
- Cerón, M.F.; Tonhati, H.; Costa, C. y Benavides, C. 2001. Interacción genotipo-ambiente en ganado Holstein colombiano. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9(2):74-78.
- Cienfuegos-Rivas, E.G.; Oltenacu, P.A.; Blake, R.W.; Schwager, S.J.; Castillo-Juarez, H. and Ruiz, F.J. 1999. Interaction between milk yield of Holstein cows in México and the United States. *J. Dairy Sci.* 82(10):2218-2223.
- Dybus A. 2002. Associations of growth (GH) and prolactin (PRL) genes polymorphisms with milk production traits in Polish Black and White cattle. *Animal Science Papers and Reports* 20(4) : 203-212.
- Galvis R.A.A. 2001. Estudio de la interacción genotipo por ambiente en el Centro Paysandú. Trabajo de grado Zootecnia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 75 p.
- Legates, J.E. y Warwick, E.J. 1992. *Cría y mejora del ganado*. 8ª ed. Interamericana Mc Graw-Hill, Atlapampa, México. 344 p.
- Madalena, F.E.; Valente, J.; Teodoro, R.L. y Monteiro, J.B.N. 1983. Produção de leite e intervalo entre partos de vacas HPB e mestiças HPB:Gir num alto nível de manejo. *Pesq. Agrop. Bras.* 18(2):195-200.
- Martínez, G., 1997. A propósito de la oportunidad a los sementales colombianos. *Rev. El Cebú* 297(Julio-Agosto):48-56.
- McDowell, R.E.; Wiggans, G.R.; Camoens, J.K.; Van Vleck, L. Dale; St. Louis, D.G. 1976. Sire comparasions for Holstein in México Vs. the United States and Canada. *J. Dairy Sci.* 59 (2):298-304.
- Obando, C.H. y Martínez C.G. 1998. Estado actual del desarrollo de la inseminación artificial en Colombia. *Rev. Normando Colom.* (30):20-24.
- Powell, R.L.; Wiggans, G.R. and Plowman, R.D. 1990. Evaluation of Holstein bull and cows in Ecuador. *J. Dairy Sci.* 73(11):3330-3335.
- Quijano, B.J. y Echeverry, J.J. 2001. Estimación de algunos parámetros genéticos y ambientales para el porcentaje de proteína en la leche. *Despertar Lechero* (19):125-135.

Ruiz, L.F. 2001. Evaluación genética de toros y vacas para producción de leche y conformación. INIFAP. Asoholstein, México.

¿QUÉ SABEMOS SOBRE LA RESISTENCIA NATURAL DEL GANADO BLANCO OREJINEGRO A INFECCIONES PRODUCIDAS POR VIRUS VESICULARES?. Albeiro López Herrera¹.

¹ Profesor Asistente. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Grupo Biodiversidad y Genética Molecular - BIOGEM. E-mail: alherrera@unal.edu.co

La prevención y el tratamiento de las infecciones virales en poblaciones animales requieren ingentes esfuerzos humanos y gran cantidad de recursos económicos. Algunos virus, como el de la fiebre aftosa (VFA), han sido eliminados de áreas geográficas, pero la re-emergencia del virus en áreas donde la vacunación había sido suspendida, ha resultado en grandes pérdidas económicas representadas en: 1. animales sacrificados para controlar la dispersión de la infección; 2. cuidado veterinario; 3. pérdidas en producción animal; 4. restricciones para el mercado internacional de animales y sus subproductos. Además en algunos países tales como Colombia, el virus de estomatitis vesicular (VEV) que produce un cuadro clínico idéntico al del VFA circula endémicamente. Para VEV recientemente se ha introducido una vacuna, pero en general la carencia de un método universal de inmunoprevención crea situaciones de gran confusión entre los productores de ganado, que a menudo ven las epidemias de VEV como falla de la vacuna de VFA.

Utilizando como modelo cultivos primarios de fibroblastos del ganado Blanco Orejinegro (BON) - una raza bovina criolla colombiana en riesgo de extinción- se determinó y caracterizó el grado de resistencia natural a la infección por el VFA y el VEV, con el doble objetivo de contribuir a la preservación de la raza y estudiar mecanismos de resistencia natural contra estas enfermedades.

Resistencia natural a VFA y su relación con la expresión del receptor celular o la actividad antiviral. Para determinar el grado de resistencia a las infecciones vesiculares del ganado criollo colombiano BON y estudiar los mecanismos de resistencia natural a enfermedades virales vesiculares, el primer virus vesicular estudiado fue VFA. El objetivo fue examinar el posible polimorfismo de resistencia/susceptibilidad (R/S) *in vitro* a la infección con VFA subtipos A24-Cruzeiro (A24) y O1-Campos (O1), usando cultivos primarios de fibroblastos de piel (CPF) de ganado BON. 60 CPF-BON fueron probados para R/S a la infección con VFA. Los resultados mostraron que para A24 los índices de R/S (IRS) variaron desde -1,2 hasta 5,6, mientras que para el subtipo O1, el rango fue desde -0,6 hasta 5,1. Para el subtipo A24, 63% de los CPF-BON presentaron fenotipo muy resistente (MR), 30% resistente (R) y sólo el 7% fueron susceptibles (S). En el caso del subtipo O1, solamente 20% estuvieron en la categoría MR, 42% en la R y 38% en la S. De los 60 CPF-BON que fueron evaluados, solamente el 33% coincidió en su fenotipo de R/S; estos resultados sugieren que el (los) mecanismo(s) responsable (s) de la resistencia para cada subtipo viral de VFA es diferente. En conclusión, los resultados mostraron que en los CPF-BON hay una amplia diversidad fenotípica de R/S al VFA, pero son más resistentes al subtipo A24 que al O1.

Después de categorizar los CPF-BON de acuerdo a su patrón de R/S, 30 CPF-BON se seleccionaron al azar para evaluar la expresión de la integrina $\alpha V-\beta 3$, proteína de expresión en membrana celular que se ha postulado como receptor natural para que el VFA se adhiera e ingrese a la célula hospedera. Este receptor se expresó en niveles tan bajos como el 2% en algunos de los CPF-BON y en otros hasta en el 85% de las células; los resultados demostraron que los CPF-BON, presentan una gran diversidad en la expresión del receptor. La correlación entre la R/S y expresión de integrina fue -0,55 y -0,02 para A24 y O1 respectivamente. Cuando se evaluó el promedio de la expresión de la integrina $\alpha V-\beta 3$ en cada una de las categorías de R/S, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el nivel de expresión entre los MR y R y entre los MR

y S, al subtipo A24, teniendo menor expresión de integrina $\alpha V\text{-}\beta 3$ en los CPF-BON MR. Entre las tres categorías de resistencia al subtipo O1, no hubo diferencias estadísticamente significativas en la expresión de integrina $\alpha V\text{-}\beta 3$. El conjunto de estos resultados determinó que la resistencia observada en los CPF-BON, a la infección por el serotipo A24, se explica - al menos parcialmente - por la baja expresión de la integrina $\alpha V\text{-}\beta 3$.

Adicionalmente, en los sobrenadantes (SN) de los 30 CPF-BON, evaluados para la expresión de integrina $\alpha V\text{-}\beta 3$, se analizó el nivel de actividad antiviral (AA) después de la infección con VFA; es decir la habilidad de diluciones seriadas de los SN de CPF-BON infectados con VFA para inhibir la replicación de VEV. La correlación entre R/S y AA fue moderada ($r = 0,57$ para A24 y $r = 0,53$ para O1). La correlación parcial entre las categorías de R/S y AA fue excelente, ya que los SN de los CPF-BON infectados con VFA A24 u O1 con alta AA siempre procedían de CPF-BON MR para A24 o MR y R para O1; los SN con baja AA correspondían a CPF-BON S para ambos subtipos de VFA. Además, se encontró diferencia significativa en la AA de los SN en las tres categorías de R/S; la única excepción fue entre las categorías MR y R para el subtipo O1, donde no hubo diferencia. Estos hallazgos indican que la resistencia a ambos subtipos de VFA esta explicada - al menos en parte - por la producción de los CPF-BON de factores con AA. Para determinar la naturaleza del factor antiviral producido por los CPF-BON infectados con VFA, los SN fueron sometidos a tratamiento térmico (95°C , 5 min). En la mayoría de los SN la AA incrementó o no fue afectada por el calentamiento, lo que indica la presencia en los SN de un factor resistente al calor, siendo una RNasa posiblemente uno de los candidatos; en otros SN la actividad antiviral disminuyó después del calentamiento, esto indica la presencia de un factor sensible al calor y como el interferón es termosensible, consideramos que posiblemente esta molécula podría estar asociada con dicha respuesta.

Resistencia natural al VEV y su correlación con AA y apoptosis. CPF-BON se infectaron con VEV serotipo Indiana (I) o New Jersey (NJ) y se

determinó si hay correlación entre la R/S de CPF-BON a la infección con este virus vesicular y la apoptosis como un mecanismo de resistencia natural. Los resultados mostraron que, al igual que con VFA, hay un polimorfismo fenotípico de R/S a estas infecciones con VEV I y NJ; el 33% de las muestras de CPF-BON fueron MR, el 50% R y solo el 17% fue S a la infección con VEV-I. Cuando los CPF-BON se infectaron con VEV-NJ se observó que el 20% de las muestras fue MR, el 50% fue R y el 30% fue S.

La apoptosis ha sido postulada como un mecanismo de resistencia del hospedero a algunas infecciones virales. Para determinar si el polimorfismo fenotípico en R/S a VEV se correlaciona con el grado de apoptosis inducido después de la infección de los CPF-BON con ambos serotipos de VEV, se cuantificó apoptosis a las 24 y 48 horas pos-infección (hpi). La infección con ambos serotipos de VEV indujo apoptosis en los CPF-BON, pero esta no presentó correlación con la categoría de R/S de la muestra, por lo tanto la apoptosis inducida por la infección con VEV en los CPF-BON no es un mecanismo de resistencia, sino un mecanismo de patogénesis del virus. Además, se cuantificó la AA de los SN de los CPF-BON infectados con VEV-I o VEV-NJ. No fue detectada AA en ningún caso, pero se detectó AA en los SN de células BHK infectadas con ambos serotipos de VEV. En resumen, la mayoría de los CPF-BON son R o MR a la infección con VEV-I o VEV-NJ, pero no se ha podido determinar el mecanismo de resistencia. Sería interesante determinar la expresión de receptores para VEV en los CPF-BON, pero a la fecha no se ha determinado cual es el receptor para este virus.

Conclusiones

La resistencia natural a las infecciones virales es un fenómeno complejo, en el que *in vivo* participan diversos tipos celulares y componentes solubles del hospedero infectado. El estudio del fenómeno de resistencia *in vivo* es difícil ya que muchos factores pueden estar actuando sinérgicamente por lo tanto los estudios de R/S inicialmente se hacen *in vitro* en las células hospederas. Utilizando como modelo celular

cultivos primarios de fibroblastos de ganado blanco orejinegro (CPF-BON) se demostró que *in vitro* existe polimorfismo en la resistencia natural en el ganado BON a los dos virus que producen enfermedades vesiculares que circulan en Colombia.

El principal mecanismo de resistencia a infecciones virales es que la célula hospedera no exprese la proteína que el virus utiliza como receptor para entrar en ella. Para el VEV no se pudo determinar si este fenómeno ocurre, ya que no se ha descrito cual es el receptor, en el caso de la infección con el VFA subtipo A24 la resistencia se correlacionó con la baja expresión de la integrina $\alpha V-\beta 3$, molécula que se ha descrito como receptor natural para este virus. Para subtipo O1, no se encontró ninguna correlación entre la R/S y el nivel de expresión de la integrina $\alpha V-\beta 3$, puede ser porque se ha descrito que este subtipo *in vitro* además de utilizar la integrina como receptor, también entra a la célula hospedera utilizando el heparan sulfato, el cual se expresa en altos niveles en las células eucarióticas.

Otro mecanismo de resistencia a infecciones virales que ha sido ampliamente descrito es la producción de factores solubles, que activan procesos para que el virus no pueda producir una progenie infecciosa. Se demostró la producción de factores solubles en los CPF-BON ante la infección con el VFA, pero no en el caso de la infección de los CPF-BON con el virus de estomatitis vesicular (VEV).

Los factores antivirales producidos por la infección con VFA son varios ya que al calentar los sobrenadantes a 95°C en algunos de ellos se disminuye la actividad antiviral, pero en la mayoría esta se incrementa o se mantiene después del calentamiento. El factor termolábil puede ser interferón tipo 1, que activaría en las células infectadas procesos antivirales o apoptosis así evitando la diseminación del virus, el factor termoresistente puede ser una RNasa que actuaría

directamente sobre el virus degradando el genoma que es RNA.

Cuando se evaluó si la apoptosis, un proceso que se ha demostrado que se correlaciona con la resistencia de monocitos humanos a la infección con el VIH-1 y con virus de influenza A explicaba el polimorfismo de resistencia de los CPF-BON a la infección con VEV. Se encontró que este virus es un potente inductor de apoptosis en estos cultivos celulares, pero no se correlacionó la apoptosis con la resistencia.

Estas investigaciones son pioneras en demostrar polimorfismo de resistencia natural al VFA y VEV utilizando cultivos primarios del hospedero natural, y se evaluaron los procesos más aceptados como efectores de resistencia natural (producción de factores solubles, baja expresión de receptor y apoptosis), y dos de ellos se lograron correlacionar con la resistencia a VFA, estas investigaciones *in vitro* deben pasar a hacer los estudios *in vivo* para demostrar si los resultados se repiten en el hospedero natural.

Bibliografía

- Ahmed, M.; McKenzie, M.O.; Puckett, S.; Hojnacki, M.; Poliquin, L. and Lyles, D.S. 2003. Ability of the matrix protein of vesicular stomatitis virus to suppress beta interferon gene expression is genetically correlated with the inhibition of host RNA and protein synthesis. *J. Virol.* 77(8):4646-4657.
- Chisangaram, J.; Picone, M. and Grubman, M. 1999. Ability of foot-and-mouth disease virus to form plaques in cell culture is associated with suppression of alpha/beta interferon. *J. Virol.* 73(12):9891-9898.
- Duque, H. and Baxt, B. 2003. Foot-and-mouth disease virus receptors: comparison of bovine alpha(V) integrin utilization by type A and O viruses. *J. Virol.* 77(4):2500-2511.