

Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina

Ninabanda, J.J.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Facultad de Ciencias Pecuarias, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba, Ecuador. E-mail: nina_jaky@hotmail.com

Resumen

Ninabanda, J.J.: Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. *Rev. vet. 29: 1, 68-72, 2018.* El objetivo de la presente revisión bibliográfica fue analizar el efecto de la somatotropina recombinante bovina sobre el desempeño productivo y reproductivo de vacas lecheras en período de post-parto, así como el impacto del balance energético negativo sobre los indicadores energético-proteicos y la capacidad gluconeogénica. Para ello fue necesario reunir datos sobre la alteración de la fertilidad y el retraso de la reactivación ovárica, dado que la primera ovulación ocurre alrededor de las dos semanas posteriores. Para la recopilación de información se implementó una investigación metodológica que incluyó: criterios de búsqueda (balance energético negativo y celo post-parto), criterios de inclusión (anestro, desarrollo folicular y hormona somatotropina recombinante bovina) y finalmente criterios de exclusión (peso y condición corporal). Muchos de los autores sugieren valorar las implicaciones de la hormona en animales que se encuentren en las primeras semanas de lactancia, así como su efecto sobre el metabolismo corporal y la composición de la leche, que impactan en el valor nutritivo y las condiciones para la industrialización del producto.

Palabras clave: vacas lecheras, balance energético-proteico, período de transición, somatotropina.

Abstract

Ninabanda, J.J.: Impact of negative energy balance in dairy cows treated with recombinant bovine somatotropin. *Rev. vet. 29: 1, 68-72, 2018.* The objective of the present review was to analyze the productive and reproductive performance of the bovine recombinant somatotropin effect in dairy cows in post-partum period, as well as the impact that occurs with the negative energy balance, on the energetic-protein indicators and gluconeogenic capacity. For which it was necessary to compile the results of the schemes in terms of: alteration of fertility and delaying the ovarian reactivation which results in a first ovulation around the 2 weeks after this point. For the summary of information a methodological investigation was implemented that included: search approaches (negative energy balance and post-partum heat), inclusion approaches (anestrus, follicular development, and bovine recombinant somatotropin) and finally exclusion approaches (live weigh and corporal condition). Many of the authors suggest to value the implications of the hormone in animals that are in the first weeks of nursing, as well as their effect on the corporal metabolism and the milk composition, that impact under the nutritious value and the conditions for the industrialization of the product.

Key words: dairy cow, protein-energy balance, period of transition, somatotropin.

INTRODUCCIÓN

Enfoque del tema. La utilización de la somatotropina recombinante bovina y el IGF-I (insulin-like growth factor-1) favorecen la maduración del ovocito, la tasa de fertilización, el desarrollo embrionario temprano, la función del cuerpo lúteo y el reconocimiento materno de la gestación. Después del parto, las vacas tienen cambios fisiológicos que conducen a la involución uterina, la

reanudación de la secreción pulsátil de gonadotropinas hipofisarias, el restablecimiento del desarrollo de ondas foliculares, la manifestación de estro y la ovulación, así como la circulación portahipofisaria.

En relación con el periodo pre-parto, el balance energético negativo comienza pocos días antes del parto, puede alcanzar su nivel mínimo a las 2 semanas post-parto y se extiende hasta 10-12 semanas¹⁰.

Durante el primer parto, las vacas presentan una dificultad mayor para recuperarse del balance energético negativo, afección que se puede observar a través de

perfiles metabólicos y endocrinos más desbalanceados e índices reproductivos más bajos que las vacas multiparas¹, este proceso sumado al estrés de la primera lactancia y a la disminución en el consumo de materia seca, agravan permanentemente los cuadros de balance energético negativo¹¹.

El principal problema del balance energético negativo en vacas post-parto, que ocurre durante la lactancia temprana, demora el tiempo hasta la primera ovulación y causa otras secuelas que tienen consecuencias negativas sobre la fertilidad durante el periodo de inseminación. Estos efectos incluyen niveles de progesterona en sangre reducidos o insuficientes, que tienen influencia sobre la fertilidad ya que alteran la funcionalidad uterina y generan una tasa inadecuada de desarrollo embrionario temprano.

El retraso del desarrollo embrionario se puede deber a las bajas concentraciones séricas de progesterona que padecen las vacas lecheras, porque el cuerpo lúteo produce menos progesterona y las hormonas esteroides se catabolizan más rápido³².

La necesidad de mejorar el balance energético negativo que comienza en los bovinos pocos días antes del parto, usualmente alcanza su nivel mínimo (*nadir*) a las 2 semanas post-parto y se extiende por 10-12 semanas. Entonces, el manejo nutricional de la vaca en el periodo de transición tiene un papel crucial en el incremento de la eficiencia reproductiva. Para obtener altos índices de actividad ovárica, es necesario disminuir la incidencia de los anestros y tener una buena detección de estros. Tal concepto condujo a la implementación de diversos esquemas tendientes a lograr una mejor respuesta al tratamiento con la somatotropina recombinante bovina y practicar la inseminación artificial.

Manejo reproductivo parto-posparto (de 0 a 45 días posparto) y balance energético negativo. El manejo nutricional en esta etapa apunta a minimizar el balance energético negativo. Buen estado corporal al parto y dietas energéticas (con concentrados y/o silo de maíz), contribuyen a lograrlo. *Lo que la vaca come y no la cantidad de leche que produce es lo que va a determinar la fertilidad durante la lactancia.*

El manejo reproductivo apunta a atender todas las consecuencias del parto en los 7 días post-parto (retención de placenta, metritis, desgarros de vulva, otros). La revisión ginecológica a los 30 días posparto nos da una idea de la involución uterina que a esa fecha ya debe ser completa, y de la actividad ovárica que también ya se debiera haber reiniciado.

Vacas que no han entrado en celo (anestro) debieran recibir un manejo nutricional especial pudiendo complementarse con la ayuda de hormonas que estimulen el celo. El continuo mejoramiento genético buscando mayor producción de leche se ha relacionado con la disminución de la fertilidad, lo cual se explica por el incremento en los requerimientos nutricionales del animal y la deficiencia en las condiciones de manejo y alimentación para suplir estas necesidades.

Ello conduce a una exagerada movilización de reservas del tejido adiposo, cambios en la concentración de metabolitos y hormonas del metabolismo intermedio, que interactúan con el eje hipotálamo-hipófisis-ovarios, causando un retraso en la reactivación fisiológica de la reproducción¹⁹.

Se considera que el periodo donde ocurren mayores cambios a nivel metabólico, endocrino y nutricional en la vaca, está comprendido entre las tres semanas antes y tres semanas después del parto. Este intervalo se denomina periodo de transición⁵.

Durante tal periodo el animal debe adaptarse a las nuevas condiciones que le generan el pasar de un estado de preñez sin producción de leche, a un estado de no preñez con elevada producción de leche. Si el animal no se adapta rápidamente a esos cambios corre el riesgo de padecer alteraciones productivas y patológicas¹⁸ que van a repercutir en el futuro reproductivo, productivo, metabólico y sanitario del animal¹⁵.

Causas de la depresión en el consumo de materia seca en el periodo de transición. La reducción en el consumo de materia seca se ha atribuido al rápido crecimiento del feto al final de la gestación, que ocupa un gran espacio abdominal y reduce el volumen para el rumen¹⁷.

Sin embargo, la curva de crecimiento del feto y la del consumo de materia seca no son consistentes, siendo más rápido el aumento en el tamaño del feto que la reducción de dicho consumo, lo cual indica que otros factores diferentes a los físicos (incluyendo un mayor consumo hídrico) y otros efectos como los fisiológicos, endocrinos y termogénicos inducidos por la progesterona, también pueden intervenir en el comportamiento alimenticio de la vaca¹⁵.

Durante el periodo de transición se presentan una serie de cambios hormonales que contribuyen a la reducción del consumo de materia seca. Al acercarse el momento del parto ocurre un aumento en la concentración de somatotropina hasta el inicio de la lactancia; la progesterona -que durante el periodo de gestación es alta- cae rápidamente para el parto, presentándose una elevación transitoria de estrógenos y glucocorticoides en el periparto⁵, la insulina disminuye continuamente en el plasma, mientras se incrementa la concentración de la hormona de crecimiento, desacoplando el eje que presentan entre ellas en el hígado con el fin de favorecer la lipólisis y la gluconeogénesis cuando la vaca se encuentra en balance energético negativo¹⁷.

Asimismo, la prolactina se incrementa en el momento del parto para volver a sus niveles normales después de él. Las concentraciones plasmáticas de tiroxina (T4) y triyodotironina (T3) aumentan a medida que avanza la gestación, disminuyen al momento del parto y se incrementan nuevamente al inicio de la lactancia, mientras que la prolactina se incrementa en el momento del parto para volver a sus niveles normales después de él¹⁵.

Después del parto el animal aumenta lentamente el consumo de materia seca ya que ha movilizado tejido

adiposo y debe terminar de remover esos lípidos, el incremento de ácidos grasos libres implica una reacción del hígado captándolos rápidamente para someterlos a una oxidación mitocondrial que incrementa el potencial de membrana, dando como resultado la reducción de la frecuencia de señales de hambre en los nervios vagales eferentes que van hacia el hipotálamo, lo cual origina que el cerebro coloque al animal en un estado post-prandial y reduzca el consumo de alimento ¹⁴.

Requerimientos de energía en la vaca de producción. La energía es catalogada como el combustible que los animales necesitan para suplir sus necesidades de mantenimiento y producción. El déficit energético se manifiesta en disfunciones del metabolismo, reducción en la producción de leche, alteración de los componentes de la leche, pérdida de peso y disminución del comportamiento reproductivo, en casos extremos llevando al animal a la muerte ²².

Cuando se estiman los requerimientos de energía en las vacas se deben tener en cuenta las pérdidas que se disipan por orina, heces, gases de fermentación y calor durante el proceso de digestión y metabolismo, para así obtener la energía metabolizable que es la que utiliza realmente el animal ²⁴.

Balance energético y efectos en la reproducción. El ideal establecido para el intervalo parto-parto es de 12 a 13 meses y para que este supuesto se cumpla, la vaca debe quedar preñada en los tres meses siguientes al parto, es decir que la reanudación de la actividad ovárica debe darse lo más pronto posible después del parto ²⁰.

La síntesis y secreción de hormonas, la ovulación de un folículo y el sostenimiento de un embrión en desarrollo presentan costos energéticos mínimos en comparación con los costos de la lactancia, sin embargo, las señales endocrinas y metabólicas involucradas en el balance energético negativo afectan la reanudación de los ciclos ovulatorios, la calidad de los ovocitos y del embrión, así como el establecimiento y mantenimiento de la preñez, disminuyendo la eficiencia reproductiva en los hatos lecheros ³⁰.

La vaca en balance energético negativo está en alto riesgo de presentar anestro anovulatorio debido a que a pesar de que desarrolla un folículo dominante, éste no ovula; los aumentos recurrentes de FSH cada 7 a 10 días después del parto permiten la aparición de ondas foliculares que dan desarrollo al folículo dominante, aunque éste no produce la concentración suficiente de estradiol para inducir un aumento en la hormona liberadora de gonadotropina, lo cual lleva a la disminución en la frecuencia de pulsos de la hormona luteinizante, evitando que se presente la ovulación ²⁹.

Otro factor que afecta el proceso reproductivo debido al balance energético negativo es la reducción en la concentración de progesterona en el post-parto temprano, siendo esta hormona necesaria en ese momento para la regulación de los cambios en el ambiente uteri-

no haciéndolo propicio para el crecimiento y desarrollo del embrión ²⁹.

Dinámica folicular durante el ciclo estral. Crecimiento, desarrollo y maduración de los folículos ováricos son procesos fundamentales para lograr una alta eficiencia reproductiva en los animales domésticos.

Un número fijo de folículos primordiales es establecido durante el desarrollo fetal. El crecimiento de los folículos ováricos abarca un período de 3 a 4 meses y está dividido en una etapa independiente y otra dependiente de gonadotrofinas ³³.

Tratamiento con somatotropina bovina recombinante. La somatotropina es una proteína producida por células llamadas somatotropas, que se encuentran en la glándula pituitaria y juegan un papel fundamental, tanto en el crecimiento como en la producción de leche de los mamíferos. Además, se sabe con certeza que la somatotropina bovina (bST) aumenta la producción de leche mediante su efecto en varios procesos fisiológicos y en diferentes tejidos, lo que resulta en un incremento en la disponibilidad y la eficiente utilización de los nutrientes para la producción láctea ².

El porcentaje de concepción está determinado por la tasa de fertilización y por la sobrevivencia embrionaria. En la vaca lechera se fertilizan entre 80 y 90% de los ovocitos, pero cuarenta y cinco días después de la inseminación hay alrededor del 30% de vacas gestantes ³¹, lo cual indica que la muerte embrionaria es la principal causa de la falla reproductiva. La etiología de la muerte embrionaria es de naturaleza diversa, pero puede resumirse en factores genéticos y ambientales.

Las anomalías cromosómicas son responsables de menos del 10% de las muertes embrionarias, mientras que los factores ambientales contribuyen con 90% ³¹. La importancia relativa de cada factor varía y está relacionada con los cambios inherentes a la producción de leche en los hatos modernos con manejo intensivo.

Se ha demostrado que al tratar vacas con bST recombinante mejora la fertilidad en vacas lactantes que están ciclando y se han inseminado a tiempo fijo. Se afirma que este efecto ocurre por el aumento del factor de crecimiento insulínico tipo 1, el cual genera además un buen desarrollo embrionario. También se ha demostrado la existencia de receptores de la hormona del crecimiento en las células luteales, registrándose un aumento de la capacidad gluconeogénica en las vacas tratadas con bST recombinante.

La aplicación de la somatotropina en el ganado implica que haya un aumento en la concentración plasmática de IGF-1, generándose efectos indirectos en la glándula mamaria para una mayor síntesis de leche, y a su vez prolongando la mantención de la misma, ya que existe un restablecimiento de las células mamarias. Tales modificaciones producen un notable cambio tanto en la producción de leche como en la persistencia de la lactancia.

Variación en la respuesta del ganado lechero. Es interesante que una sola inyección de bST recombinante al momento de la inseminación, mejore el porcentaje de concepción en vacas subfértiles, mientras que el mismo tratamiento en vacas de primer servicio no ha tenido éxito²¹. La desigualdad en la respuesta podría deberse a las diferencias metabólicas, endocrinas y nutricionales entre estos grupos de vacas.

Al momento del tratamiento las vacas de primer servicio tienen 60 a 70 días postparto, mientras que las vacas repetidoras tienen alrededor de 200 días. Por tanto, aquellas vacas están más expuestas a factores que pueden ocasionar falla en la concepción, como un balance energético negativo u otro problema relacionado con el parto. En cambio, las vacas repetidoras están alejadas de estas condiciones. Además, los folículos que crecen durante el periodo de balance energético negativo pueden afectarse y generar ovocitos con menor potencial para desarrollar embriones viables.

Los resultados favorables en vacas de primer servicio³⁰ no se observaron en otros estudios con tratamientos similares^{4, 26}. Probablemente el tipo de bST, el manejo reproductivo de los hatos y las condiciones ambientales podrían explicar dicha variación, por lo cual su uso en vacas de primer servicio debe validarse en cada condición particular.

El tratamiento en vaquillas superovuladas con bST recombinante aumentó la proporción de embriones transferibles, pero su administración en el momento de la inseminación no mejoró el porcentaje de concepción. Posiblemente el tratamiento con bST en bovinos con fertilidad alta, como las vaquillas de primer servicio, tiene un efecto débil, por lo cual es interesante evaluar el tratamiento en vaquillas subfértiles.

Sinopsis de los resultados de la recopilación bibliográfica. El tratamiento con bajas dosis de bST recombinante desde el pre-parto no estimuló la capacidad gluconeogénica vía propionato en el post-parto. Se ha reportado que la bST estimula la gluconeogénesis hepática asociada al incremento en el uso de precursores glucogénicos y a la baja respuesta a la insulina que, por otro lado, incrementan la actividad de la enzima gluconeogénica fosfoenolpiruvato carboxiquinasa.

La actividad o dinámica ovárica es característica de animales cíclicos pero también de ganado en el periodo post-parto considerado acíclico o en anestro. La anovulación que se presenta en este periodo se atribuye a fallas en el nivel central, asociadas con el control de la secreción de GnRH, donde una serie de hormonas y neuropéptidos se han propuesto como posibles mediadores de dichos eventos en el bovino.

Cuando se suspenden los efectos bloqueadores centrales es de esperar la reactivación de la ciclicidad ovárica. Sin embargo, debe existir una sincronía entre el nivel central, el nivel local, y el estado corporal general del animal, donde factores celulares y moleculares marcan la pauta en la variabilidad del potencial ovulatorio de los primeros folículos dominantes en el pos-

parto. En el momento del parto, la condición corporal es de suma importancia ya que determina el periodo que permanecerá el animal en anestro y afecta de forma significativa el intervalo entre partos.

Los problemas reproductivos en los bovinos han sido estrechamente relacionados con el balance energético. A su vez, se conoce ampliamente que la condición corporal y el balance energético están en directa relación con niveles de leptina. Esta hormona actúa en el ovario de manera compleja e íntimamente ligada a la insulina, el factor de crecimiento insulínico tipo 1 y otros marcadores metabólicos y reproductivos.

Es importante investigar si la aplicación de estrategias de manejo que ayuden al restablecimiento de la ciclicidad (interrupción temporal del amamantamiento, nutrición y condición corporal adecuada), resultarán siempre en una ovulación, para observar si existe una dependencia del potencial ovulatorio de la estructura ovárica formada. Se podrían postular algunos factores celulares y moleculares como marcadores de la variabilidad del potencial ovulatorio de los primeros folículos dominantes en vacas en postparto como son la leptina, el factor de crecimiento insulínico, la hormona luteinizante y la expresión de sus receptores en ovario.

Estudios científicos de la expresión local de estos factores y de sus interacciones contribuirían grandemente al esclarecimiento del gran enigma de la anovulación posparto en ganado de carne.

Conclusiones. Analizando las referencias mencionadas, así como otras fuentes bibliográficas sobre el tema^{3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 16, 23, 25, 27, 28}, se concluye que en vacas lecheras se produce un efecto favorable ante la administración de bST recombinante en el porcentaje de concepción, ya sea integrada a los programas de sincronización de la ovulación en vacas de primer servicio o administrada a las vacas subfértiles al momento de la inseminación. El mecanismo por el cual la bST favorece el porcentaje de concepción no está totalmente dilucidado, pero opera mediante su efecto en la maduración del ovocito, fertilización y desarrollo embrionario.

Al utilizar una única dosis de bST en vacas lecheras a pastoreo no se afectó el balance energético cuando fue administrada en el preparto, mientras que su uso en el postparto temprano incrementó la producción láctea sin deteriorar el balance energético. En vacas productoras de carne, la inyección de bST incrementa las concentraciones séricas de IGF-I, pero su uso en programas de manejo no ha aportado resultados favorables.

REFERENCIAS

1. **Adrien M et al.** 2012. Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal* 6: 292-299.
2. **Bauman DE.** 1992. Bovine somatotropin: review of an emerging animal technology. *J Dairy Sci* 75: 3432-3451.

3. **Bauman DE.** 1999. Bovine somatotropin and lactation: from basic science to commercial application. *Dom Anim Endocrinol* 17: 101-116.
4. **Blevins CA, Shirley JE, Stevenson JS.** 2006. Milking frequency, estradiol cypionate, and somatotropin influence lactation and reproduction in dairy cows. *J Dairy Sci* 89: 4176-4187.
5. **Block E.** 2010. Transition cow research; what makes sense today?. Proceedings of the High Plains Dairy Conference, p.75-89, Texas. *Rev Col Cienc Pec* 18: 3.
6. **Bohe G, Young JW, Beitz DC.** 2004. Invited review: pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 3105-3124.
7. **Bradford BJ, Gour AD, Nash AS, Allen MS.** 2006. Propionate challenge tests have limited value for investigating bovine metabolism. *J Nutr* 136: 1915-1920.
8. **Bruss ML.** 2008. Lipids and ketones. In: *Clinical Biochemistry of Domestic Animals* (Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML, eds), Academic Press, San Diego, USA, p. 81-115.
9. **Butler W.** 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim Reprod Sci* 60: 449-457.
10. **Butler W.** 2003. Energy balance relationships with follicular development ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Prod Sci* 83: 211-218.
11. **Chilibroste P, Soca P, Mattiauda D.** 2012. Estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche de base pastoril. *Public. Pasturas 2012: hacia una ganadería competitiva y sustentable*, INTA Balcarce, Argentina, p. 91-100.
12. **Coppock CE.** 1986. Mineral utilization by the lactating cowchloride. *J Dairy Sci* 69, 595-603.
13. **Correa H.** 2001. Consumo de materia seca durante el periodo de transición. *Curso Educ. Cont. Colombia*, p.3-15. hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/1545
14. **Correa H.** 2002. Monitoreo nutricional y metabólico en hatos lecheros. Seminario II Curso Actualización en Reproducción Animal, Grupo Investig. Biotech. Aplic., Medellín, Colombia. <https://es.scribd.com/document/220705593/Tesis-Repro>
15. **Correa H.** 2004. La vaca en transición: metabolismo y manejo nutricional. *Mem. Seminario Nacional de lechería especializada*, Hosp. Gen. Medellín, Colombia, p. 141-152.
16. **Doepel L, Lobley GE, Bernier JF, Dubreuil P, Lapierre H.** 2009. Differences in splanchnic metabolism between late gestation and early lactation dairy cows. *Theriogenology* 60: 1445-1456.
17. **Fenwick M.** 2008. Interrelationships between negative energy balance and IGF regulation in liver of lactating dairy cows. *Dom Anim Endocrinol* 34: 31-44.
18. **Fernandez G.** 2009. El periodo de transición en la vaca lechera. *Curso: Seminario avanzado de investigación*, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. <https://es.scribd.com/document/338210938/gilberto-transicion-pdf>
19. **Galvis RD, Munera EA, Marín AM.** 2005. Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Rev Colomb Cs Pec* 18: 228-239.
20. **Gautam G et al.** 2010. Defining delayed resumption of ovarian activity postpartum and its impact on reproductive performance in Holstein cows. *Theriogenology* 73: 180-189.
21. **Hernández J, Mendoza MG, Morales S, Gutierrez CG.** 2000. A single dose of recombinant bovine somatotrophin improves fertility in dairy cattle. *Reprod Fertil* 25: 140.
22. **Irigoyen A, Rippoll G.** 2011. Alimentación posparto de la vaca lechera. Cartilla para productores. <http://www.plana-gro.com.uy/publicaciones/uedy.htm>
23. **Jaurena G.** 2003. Effect of dry period protein nutrition on subsequent milk production from dairy cows. *PhD Thesis*, Instit.Grassl. & Envir.Research, Univ.Wales (Aberystwyth, UK). www.journalofdairyscience.org/article/S0022...9/references
24. **Jouany P.** 2006. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. *Animal Reprod Sci* 96: 250-264.
25. **Jousan FD, Hansen PJ.** 2004. Insulin-like growth factor I as a survival factor for the bovine preimplantation embryo exposed to heat shock. *Biol Reprod* 71: 1665-1670.
26. **Jousan FD, Castro LA, Block J, Hansen PJ.** 2007. Fertility of lactating dairy cows administered recombinant bovine somatotropin during heat stress. *J Dairy Sci* 90: 341-351.
27. **Larsen M, Kristensen NB.** 2009. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic amino acid metabolism in periparturient dairy cows. *J Dairy Sci* 92: 3306-3318.
28. **Miyoshi S, Pate J, Palmquist D.** 2001. Propylene glycol for dairy cows. A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Anim Reprod Sci* 68: 29-43.
29. **Roche J, Mackey D, Diskin M.** 2000. Reproductive management of postpartum cows. *Anim Reprod Sci* 60-61: 703-712.
30. **Santos J.** 2009. Nutrition and reproduction in dairy cattle. *Conference*, Department of Animal Sciences, University of Florida, Gainesville. www.animal.ufl.edu/
31. **Sreenan JM, Diskin MG, Morris DG.** 2001. Embryo survival rate in cattle: a major limitation to the achievement of high fertility. In: *Fertility in the high-producing dairy cows* (Diskin MG ed), Publication by British Society of Animal Science, Edinburgh, 26: 93-104.
32. **Vasconcelos JL, Sangsritavong S, Tsai SJ, Wiltbank MC.** 2003. Acute reduction in serum progesterone concentrations after feed intake in dairy cows. *Theriogenology* 60: 795-807.
33. **Webb R, Garnsworthy PC, Campbell BK, Hunter MG.** 2007. Intra-ovarian regulation of follicular development and oocyte competence in farm animals. *Theriogenology* 68: 22-29.