

Capítulo LXXIII

Principios y estrategias de suplementación de grasas en la alimentación de hembras bovinas y su relación con la reproducción

Florencio Jiménez

La vida productiva de una hembra bovina se ve afectada principalmente por la edad al primer parto. Las prácticas de manejo implementadas en los sistemas de producción de levante de novillas, permiten a éstas, concebir a edad temprana en la primera temporada de monta, trayendo como consecuencia un mejoramiento de la productividad del rebaño. La edad y el peso son dos factores críticos que afectan directamente el establecimiento y/o aparición de la pubertad en hembras bovinas. Se ha demostrado que la edad a la pubertad puede ser acortada en hembras a partir de elevados planos nutricionales, y por el contrario, un retraso de la misma cuando se suministra una alimentación no adecuada (Sorensen *et al.*, 1959; Wiltbank *et al.*, 1966).

La suplementación con grasas produce efectos beneficiosos sobre la reproducción debido al incremento de energía de la dieta (Del Curto *et al.*, 2000). Numerosas investigaciones con respecto a la suplementación con grasas y otros nutrientes han sido realizadas en vacas de uno o más partos (multíparas) y en novillas de reemplazo, aplicándolas antes y después del parto, así como durante la temporada de servicios. Distintas respuestas se han obtenido y múltiples variables se han estudiado incluyendo, peso corporal, y condición corporal (CC), edad a la pubertad, intervalos parto-primer servicio, tasa de concepción, tasa de preñez, intervalo entre partos, dificultad de parto, pesos al nacimiento y al destete. Para determinar los mecanismos de acción, los científicos han investigado los cambios en el desarrollo folicular y uterino, así como los cambios en los perfiles hormonales, función cerebral y desarrollo embrionario (Funston, 2004). A continuación, en este Capítulo, se presentan algunos criterios que ayudarán y guiarán en la difícil tarea de suplementar de forma estratégica a las hembras bovinas, de acuerdo a los objetivos que nos trazamos en la unidad de producción y del acceso que tengamos a las materias primas energéticas en la zona agroecológica en la cual nos encontremos.

¿CÓMO Y CON QUÉ SUPLEMENTAR RUMIANTES?

Muchos recursos para suplementar grasas pueden ser suministrados al ganado de leche y carne bajo condiciones experimentales. Algunos de ellos incluyen mezclas de grasas animales y vegetales, cebo, grasa amarilla, harina de pescado, semillas de algodón, semillas de soya, semillas de canola, corazones de maní, semillas de girasol, grasa en hojuelas o copos, grasa comprimida, grasa hidrogenada, grasa en forma de jabones de calcio y triglicéridos de cadena mediana (Staples *et al.*, 1998; Williams & Stanko, 2000). Los ácidos grasos de estas fuentes de grasas varían ampliamente; Coppock & Wilks (1991) especificaron el perfil de ácidos grasos de las fuentes más comunes de las grasas utilizadas, resultando el ácido linoleico el principal ácido graso presente en la mayoría de los lípidos de las semillas (Staples *et al.*, 1998); el ácido linoléico predomina en los lípidos de los forrajes (Staples *et al.*, 1998; Bellows *et al.*, 2001), mientras que las grasas como el cebo y la grasa amarilla contienen grandes proporciones de ácido oleico (Coppock & Wilks, 1991; Staples *et al.*, 1998). Las grasas granulares tales como los jabones de calcio del aceite de palma y las grasas comprimidas contienen principalmente grasas saturadas como lo son los ácidos palmítico y esteárico (Staples *et al.*, 1998). La harina de pescado contiene un alto nivel de ácidos grasos omega-3 entre ellos eicosapentanoico y decahexanoico (Mattos *et al.*, 2000; Burns *et al.*, 2002).

La utilización de estas fuentes en raciones no debe rebasar el 5%; además, los alimentos formulados con grasas naturales pueden volverse rancios bajo manejo inadecuado y alterar la fermentación al recubrir las bacterias ruminales, afectando la digestión de la fibra, síntesis de proteína microbiana y consecuentemente la producción de leche (Villagómez, 2000). En forma óptima las grasas deben ser proporcionadas a las vacas por día de acuerdo al peso metabólico del animal, sugiriéndose 0,35 Kg/día para razas pequeñas (Jersey) y de 0,5 Kg/día para vacas de razas grandes (Holstein, Brahman) (Palmquist, 1980). Cuando se usan grasas suplementarias por arriba del 3% del total de la materia seca, se sugiere la adición de 72 g. de proteína de sobrepeso por cada Mcal de EN (Energía Neta) proveniente de la grasa (McNamara *et al.*, 1995).

SUPLEMENTACIÓN DE LAS RACIONES DE LOS ANIMALES CON GRASAS

En las raciones animales, los carbohidratos pueden substituirse por grasas como fuente de energía y para la deposición de grasa corporal. Los rumiantes alimentados a base de concentrados son menos tolerantes a los altos niveles de grasa (6-8%) que los monogástricos. En los años 1970, en Australia, se desarrollaron técnicas que permiten la administración de cantidades considerables de grasas "protegidas". La protección de las grasas es un proceso consistente en la encapsulación de pequeñas gotas de aceite en una fina capa de proteína tratada con formaldehído. De este modo, las gotas no son atacadas por los microorganismos durante su paso por el rumen, pero la grasa se libera por la acidez del abomaso y queda disponible para la digestión y absorción en el intestino delgado. La administración de grasas insaturadas protegidas, determina una rápida elevación del grado de insaturación de los lípidos del plasma, así como de la leche y la grasa corporal (Bondi, 1988).

Las grasas pueden ejercer impactos positivos sobre la función del rumen al permitir reducir el nivel de carbohidratos fácilmente disponibles y estimular así la utilización de la fibra, y mediante la biohidrogenación pueden mejorar la recuperación de energía. Sin embargo, las grasas influyen de forma negativa, más que positiva, sobre la función del rumen. De manera habitual, se aconseja limitar las grasas a menos del 5% de la ración total en un intento de prevenir problemas de fermentación en el rumen. La naturaleza y la forma de la grasa son hechos muy importantes y, junto con los niveles de minerales críticos, determinan si la grasa añadida será una ventaja o un inconveniente.

La grasa puede influir sobre la función del rumen de varias formas. La digestión de la fibra es sensible a las condiciones de fermentación en el rumen y la grasa reduce la digestión de la fibra en condiciones normales mediante varios mecanismos (Palmquist & Jenkins, 1980). Entre los mecanismos señalados se incluye el recubrimiento físico de la fibra con grasa, efectos tóxicos que modifican a ciertos microorganismos, efectos tensoactivos sobre las membranas microbianas y descenso en la disponibilidad de cationes mediante la formación de jabones (Jenkins & Palmquist, 1984). Una reducción de cationes disponibles puede influir también sobre el pH, así como eliminar cationes necesarios para los microbios (Hightshoe *et al.*, 1991). La grasa añadida en forma de aceite de semillas oleaginosas reduce mucho el número de protozoos, poniendo de manifiesto su sensibilidad a los efectos directos o indirectos de la grasa añadida (Bottger *et al.*, 2002). La incorporación de cationes metálicos como cenizas de alfalfa (Brooks, 1954), sales de calcio o piedra caliza evita con éxito el descenso de la digestibilidad de la fibra provocado por la grasa añadida. El Ca^{++} forma jabones insolubles con los ácidos grasos y evita su interferencia sobre los microbios del rumen. Según Jenkins & Palmquist (1984), la formación de complejos con el sebo o los ácidos grasos de la soya en forma de jabones de Ca^{++} mediante CaCl_2 o mediante adhesión versátil, alivió la mayoría o la totalidad de los efectos negativos de los ácidos grasos sobre la digestión de la fibra en el rumen.

Tanto el grado de insaturación como la esterificación adquieren importancia crítica al determinar la cuantía del impacto de la grasa en la digestión de la fibra. Las grasas poli-insaturadas resultan generalmente mucho más tóxicas para los microbios del rumen que las grasas saturadas (Moallem *et al.*, 1999). La esterificación ejerce también influencia y, aunque la actividad de los microbios es elevada, la grasa añadida en forma esterificada en lugar de ácidos grasos libres, especialmente con niveles del 5% o superiores, ejerce un mayor efecto perjudicial sobre la digestión de la fibra (Palmquist & Jenkins, 1980). Sin embargo, la adición de ácidos grasos (linoleico) en forma libre inhibe la biohidrogenación y debe ser tenida en cuenta (Burns *et al.*, 2002).

ESTRATEGIAS Y/O ALTERNATIVAS PARA LA SUPLEMENTACION DE GRASAS

La mayoría de las investigaciones que estudian los efectos de la suplementación con grasas sobre la reproducción han empleado aceites de semillas u oleaginosas (Tallava *et al.*, 1985; Williams, 1989), aceite de soya (Ryan *et al.*, 1992) o Megalac® (Hightshoe *et al.*, 1991), la cual contiene sales de calcio de aceite de palma. Dependiendo del contenido de aceite, las semillas de oleaginosas han sido incluidas entre 15

y 30% de la dieta sobre la materia seca de la misma aportando 4 a 8% de grasas. Estas últimas no están universalmente disponibles y no son prácticas económicamente en algunas condiciones de suplementación del ganado. Por lo tanto, otras alternativas son necesarias; una de ellas es la melaza, como base líquida (vehículo) conteniendo jabones de aceite de soya (Stanko *et al.*, 1997). La tecnología utilizada para mantener la grasa en una suspensión homogénea por largos períodos de tiempo continua siendo el mayor reto, así mismo la optimización de las mezclas conteniendo urea, azúcares, grasa y otros constituyentes para promover y optimizar el consumo.

Suplementos deshidratados de grasa conteniendo 18 a 20% de aceite vegetal han sido comercializado para ganado de leche y carne (CONCEPT®; Purina Mills, St. Louis, MO), aprovechando los beneficios de la grasa sobre el desempeño reproductivo. No obstante, se han asociado marcados problemas de palatabilidad atribuibles a la inclusión de altas cantidades de la materia prima en la dieta. Suplementos comerciales alternativos que contengan por encima de 20% de aceites vegetales son necesarios para maximizar la respuesta fisiológica ovárica. Grasa amarilla o sub-productos industriales de restaurantes (20-25% de ácido linoleico) pueden ser usados como una de estas alternativas (Williams & Stanko, 2000).

SUPLEMENTACION CON GRASAS Y FUNCIONES REPRODUCTIVAS

Secreción hormonal

El consumo de aceites vegetales poli-insaturados han incrementado las concentraciones de insulina sérica y las concentraciones de GH en vacas de leche y carne (Williams & Stanko, 2000). Sin embargo, Bottger *et al.* (2002) reportaron que no existían diferencias significativas en las concentraciones séricas de glucosa, NEFA (Ácidos Grasos No Esterificados), GH (Hormona del crecimiento), IGF-1 (Factor de crecimiento Insulínico Tipo I), insulina y proteínas ligadoras de IGF-1 en vacas primíparas suplementadas con semillas de cárcamo con elevados niveles de ácido linoleico y oleico. Bellows *et al.*, (2001) también demostraron que no existían diferencias en las concentraciones de IGF-1, glucosa y NEFA después de alimentar las novillas primíparas con semillas de girasol 68 días antes del parto comparadas con la dieta control sin la adición de grasas. Staples *et al.*, (1998) reportaron bajos niveles de insulina en estudios donde se incluyó la grasa en la dieta y que los niveles de NEFA se encontraban casi siempre elevados en vacas suplementadas con grasas, mientras que las concentraciones de glucosa no sufrieron cambios bajo condiciones de suplementación de grasas.

Las mediciones de las concentraciones periféricas de las hormonas metabólicas pueden no ser una medida exacta del estado metabólico debido a que estas medidas no representan realmente sus niveles debido a las diferencias entre las tasas de depuración o consumo celular que puede ocurrir cuando se suplementan lípidos (Funston, 2004).

Efectos sobre las concentraciones de colesterol y progesterona

La suplementación de grasas en la dieta incrementa las concentraciones de colesterol circulante (Staples *et al.*, 1998) y de progesterona (P₄), asimismo la duración

de vida del cuerpo lúteo en el ganado (Williams & Stanko, 2000). El colesterol sirve como precursor de la síntesis de P_4 por las células luteales del ovario y la P_4 prepara al útero para la implantación del embrión y también para el mantenimiento de la preñez. Los incrementos en las concentraciones de P_4 en el plasma están asociadas a elevadas tasas de concepción en vacas lactantes (Staples *et al.*, 1998), mientras que incrementos en las concentraciones de colesterol debido a la suplementación de grasas pueden llevar a un aumento en la síntesis de P_4 (Staples *et al.*, 1998) o a una reducción de la tasa de depuración en la sangre (Hawkins *et al.*, 1995).

El consumo de alimentos en ovejas pueden influenciar las concentraciones de progesterona, con una marcada correlación negativa entre el consumo de la dieta y las concentraciones de P_4 (Mc Evoy *et al.*, 1997). El efecto es debido a un incremento en la tasa de catabolismo de la progesterona en la circulación hepática debido a elevados niveles de alimentación (Sangsritavong *et al.*, 2002). Se cree que la P_4 juega un rol importante en la maduración del ovocito en las etapas tempranas del desarrollo embrionario (Boland & Lonergan, 2003).

La alimentación *ad libitum* en novillas incrementó (McCann & Hansel, 1996), disminuyó (Villa-Godoy *et al.*, 1990) o no tuvo efecto significativo (Spitzer *et al.*, 1978) sobre las concentraciones de P_4 cuando se comparaban con regímenes alimentarios restringidos. El flujo sanguíneo hepático y la tasa de depuración metabólica de P_4 han demostrado estar correlacionadas positivamente, siendo afectadas por el incremento en el consumo de energía en vacas lecheras (Sangsritavong *et al.*, 2002). Bajos niveles de P_4 post-amamantamiento puede reducir la fertilidad (Larson *et al.*, 1997); sin embargo, como los esteroides son selectivamente almacenados en el tejido adiposo, cualquier régimen alimenticio que provoque movilización de las grasas, liberará la P_4 almacenada. Las concentraciones de P_4 e Interferón- τ embrionario han mostrado estar correlacionadas positivamente a este mecanismo (Mann *et al.*, 1999).

Efecto sobre el crecimiento folicular

La suplementación con grasas afectan la dinámica del crecimiento folicular en el ganado, incrementando el número de folículos de tamaño mediano de 1,5 a 5, durante 3 a 7 semanas (Wehrman *et al.*, 1991; Ryan *et al.*, 1992; Thomas *et al.*, 2007). Este efecto ocurre de forma independiente de la energía metabolizable de la dieta o de la ganancia de peso del ganado en condición corporal de moderado a obeso. El descenso en el pool de folículos de tamaño mediano ocurre a expensas de las poblaciones de folículos pequeños (≤ 3 mm) (Wehrman *et al.*, 1991). El mayor incremento en las poblaciones de folículos medianos se ha medido en respuesta al aceite vegetal, el cual es rico en ácido linoleico. Así mismo, el número de folículos con 8 mm de diámetro fueron clasificados como grandes, incrementándose también en número cuando se suministraban dietas con grasas vegetales (Lammoglia *et al.*, 1996).

La respuesta máxima en cuanto al desarrollo folicular con la suplementación con grasas vegetales ocurrió cuando se adicionó por lo menos 4% de la cantidad total de materia seca consumida, siendo bajo el desarrollo folicular cuando se suministraron niveles menores de 4% de grasa vegetal (Thomas & Williams, 1996; Stanko *et al.*, 1997). La grasa animal (Thomas & Williams, 1996; Thomas *et al.*, 2007), sales de calcio procedentes de ácidos grasos saturados (Hightshoe *et al.*, 1991; Lucy *et al.*, 1991) o

aceites de pescado (Thomas *et al.*, 2007) han demostrado tener un efecto poco marcado sobre el crecimiento folicular en comparación con los aceites vegetales. Esto se debe principalmente a la marcada concentración de ácido linoleico (18:2) que se encuentra en los aceites derivados de vegetales.

Efectos sobre la insulina

Se ha demostrado que la insulina es un estimulador potencial de la función de las células foliculares del ovario. Adicionando insulina a células de la granulosa de folículos pequeños (1 a 5 mm) y grandes (8mm) de ovarios de vacas de razas de carne y leche enviadas a matadero, se observó un aumento en la proliferación celular y en la producción de progesterona que aquellas células de ovarios de vacas a las cuales no se les adicionó insulina (Langhout *et al.*, 1991; Spicer *et al.*, 1993). Sin embargo, el efecto de la grasa de suplementación sobre las concentraciones plasmáticas de insulina son variadas.

Las concentraciones de insulina usualmente reflejan el consumo de energía. Si la producción o liberación de insulina se deprime por la suplementación de grasa, el resultado del desarrollo del folículo será negativo. No obstante, bajas concentraciones de insulina en el plasma pueden resultar de una tasa de depuración de la insulina de la sangre por parte de los tejidos, incluyendo el tracto reproductivo, el cual en su momento estimula el crecimiento de los folículos ováricos. Spicer *et al.* (1993) reportaron que las células de la granulosa bovina tienden a producir poca IGF-I cuando se cultivaba con insulina y GH. La IGF-I es un potente estimulador de las células de la granulosa bovina *in vitro* (Spicer *et al.*, 1993), suprime la insulina y mediante el suministro de grasa en el alimento permite a la IGF-I afectar en forma positiva el desarrollo folicular.

Bajos niveles de insulina mejoran la lipólisis en el tejido adiposo de vacas lecheras lactantes. Grummer & Carroll (2002) sugirieron que la hidrólisis neta de los triglicéridos en el tejido adiposo aumentó cuando se añadió grasa a la dieta. En cualquier día postparto, los adipocitos de las vacas suplementadas con grasa fueron menos lipogénicos cuando se incubaron con acetato en comparación con aquellos adipocitos de vacas no suplementadas con grasas (McNamara *et al.*, 1995). En consecuencia, el consumo de grasa de suplemento en la dieta reduce la lipogénesis por parte del tejido adiposo. Un incremento en la lipólisis resulta en un incremento en los NEFA en plasma y las concentraciones de NEFA en plasma casi siempre son elevadas en vacas suplementadas con grasa (Grummer & Carroll, 2002).

La glándula mamaria puede tomar NEFA del plasma (Grummer, 1991) aunque los quilomicrones y las lipoproteínas de baja densidad son el mejor recurso de ácidos grasos en la glándula mamaria (Moore & Christie, 1979). La novo síntesis de los ácidos grasos por parte de la glándula mamaria está reducida cuando se suplen ácidos grasos adicionales de la sangre (Grummer, 1991). La baja demanda de glucosa por parte de la glándula mamaria para la síntesis de triglicéridos permite una mejor utilización de la glucosa para el metabolismo energético en otros tejidos. Las concentraciones de glucosa generalmente no sufren cambios bajo condiciones de suplementación con grasas (Grummer & Carroll, 2002).

SÍNTESIS DE PROSTAGLANDINA UTERINA

Las prostaglandinas juegan un rol importante en el restablecimiento del ciclo estrual inmediatamente después del parto y más allá, hasta que ocurre la concepción. La prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) es la responsable de la involución uterina después del parto y se sabe que la ciclicidad de las vacas es útero-dependiente. Altas concentraciones de $PGF_{2\alpha}$ están asociadas a una rápida involución uterina. La liberación de $PGF_{2\alpha}$ por parte del útero durante cada ciclo estrual produce la regresión del cuerpo lúteo (CL) en la vaca no gestante y es la que inicia el nuevo ciclo reproductivo. Durante el período de regresión del CL, las concentraciones de $PGF_{2\alpha}$ y de progesterona están inversamente relacionadas. Si la vaca concibe, la liberación de $PGF_{2\alpha}$ del útero se detiene con la finalidad de preservar el CL y así poder mantener la gestación. Si se incrementa la producción de $PGF_{2\alpha}$ se producirá luteólisis y un incremento de la mortalidad embrionaria (Funston, 2004).

El ácido linoleico es el sustrato para la síntesis de $PGF_{2\alpha}$. Puede ser desaturado y elongado para formar ácido araquidónico, precursor de la $PGF_{2\alpha}$. Las enzimas regulatorias que participan para este proceso de conversión incluyen 6-desaturasa y la ciclooxigenasa. El ácido linoleico puede inhibir la síntesis de $PGF_{2\alpha}$ por inhibición competitiva de estas enzimas (Staples *et al.*, 1998). Grant *et al.* (2003) suplementando vacas de carne postparto con altas cantidades de semillas de cárcamo observaron un incremento del metabolito de la PGF de 25 a 80 días postparto, el cual tendía a disminuir las tasas de concepción al primer servicio. Filley *et al.* (2000) también demostraron que suministrando sales de calcio de aceite de palma incrementaron el ácido linoleico y el metabolito- PGF en plasma de novillas de carne. El ácido araquidónico y dos ácidos grasos encontrados en la harina de pescado, eicosapentanoico (EPA) y el decasahexanoico (DHA) han demostrado inhibir la actividad de la enzima ciclooxigenasa (Mattos *et al.*, 2000). El ácido linoleico demostró ser un fuerte inhibidor de la síntesis de $PGF_{2\alpha}$ (Pace-Asciak & Wolfe, 1968). La cantidad y el tipo de partícula del ácido graso tienen especificidad con el tejido donde ejercerán su influencia en la síntesis de $PGF_{2\alpha}$ estimulando o inhibiendo su síntesis (Staples & Thatcher, 2000). Es de hacer notar, que las reducciones en las concentraciones séricas e intrafoliculares de estradiol están asociadas con la suplementación de grasas, jugando un papel importante en la respuesta moduladora a las prostaglandinas (Staples *et al.*, 1998).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellows RA, Grings EE, Simms DD, Geary TW, Bergman JW. 2001. Effects of feeding supplemental fat during gestation to first-calf beef heifers. *Prof Anim Sci*. 17: 81-89.
- Boland MP, Lonergan P. 2003. Effects of Nutrition on Fertility in Dairy Cows. *Advances in Dairy Technology* 15: 19.
- Bondi AA. 1988. Los lípidos y su importancia en la nutrición de los animales monogástricos y rumiantes. *Nutrición Animal*. Editorial Acribia, S.A. Apartado 466. 50080 Zaragoza (España).
- Bottger JD, Hess BW, Alexander BM, Hixon LF, Woodard RN, Funston DM, Hallford DM, Moss GE. 2002. Effects of supplementation with high linoleic or oleic cracked safflower seeds on postpartum reproduction and calf performance of primiparous beef heifers. *J Anim Sci* 80:2023-2030.

- Brooks CC, Garner GB, Gehrke CW, Muhrer ME, Pfander WH. 1954. The effect of added fat on the digestion of cellulose and protein by ovine rumen microorganisms. *J Anim Sci* 13:758-764.
- Burns PD, Bonnette TR, Engle TE, Whittier JC. 2002. Effects of fishmeal supplementation on fertility and plasma omega -3 fatty acids profiles in primiparous, lactating beef cows. *Prof Anim Sci*. 18: 373-379.
- Coppock CE, Wilks DL. 1991. Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: Effects on intake, digestion, milk yield and composition. *J Anim Sci* 69:3826-3837.
- Del Curto T, Hess BW, Huston JE, Olson KC. 2000. Optimum supplementation strategies for beef cattle consuming low-qualities roughages in the western United States. *J Anim Sci* 77:1-16.
- Filley SJ, Turner, Stormshak F. 2000. Plasma fatty acids, prostaglandin F_{2α}, metabolite, and reproductive response in postpartum heifers fed rumen bypass fat. *J Anim Sci* 78:139-144.
- Funston RN. 2004. Fat supplementation and reproduction in beef females. *J Anim Sci* 82: E154-161.
- Grant MHJ, Hess BW, Hixon DL, Van Kirk EA, Alexander BM, Nett TM, Moss GE. 2003. Effect of feeding high-linoleate safflower seeds on reproductive endocrine dynamics in postpartum beef females. *Proc West Sec Amer Soc Anim Sci* 54:36-39.
- Grummer RR. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *J Dairy Sci* 74: 3244-3257.
- Grummer RR, Carroll DJ. 2002. Effects of dietary fats on metabolic disorders and reproductive performance of dairy cattle. *J Anim Sci* 69: 3838-3849.
- Hawkins DE, Niswender KD, Oss GM, Moeller CL, Odde KG, Sawyer HR, Niswender GD. 1995. An increase in serum lipids increases luteal lipid content and alters the disappearance rate of progesterone in cows. *J Anim Sci* 73:541-545.
- Hightshoe RB, Cochran RC, Corah LR, Kiracofe GH, Harmon DL, Perry RC. 1991. Effects of calcium soaps of fatty acids on postpartum reproductive function in beef cows. *J Anim Sci* 69:4097-4103.
- Jenkins TC, Palmquist DL. 1984. Effect of fatty acids or Calcium soaps on Rumen and total nutrient digestibility of Dairy Rations. *J Dairy Sci* 67:978-986.
- Lammoglia TL, Willard ST, Oldham JR, Randel RD. 1996. Effects of dietary fat and season on steroid hormonal profiles before parturition and on hormonal, cholesterol, triglycerides, follicular patterns and postpartum reproduction in Brahman cows. *J Anim Sci* 74:2253-2262.
- Langhout DJ, Spicer LJ, Geisert RD. 1991. Development of a culture system for bovine granulosa cells: effects of growth hormone, estradiol, and gonadotropins on cell proliferation, steroidogenesis and protein synthesis. *J Anim Sci* 69: 3321-3384.
- Larson SF, Butler WR, Currie WB. 1997. Reduce fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea nitrogen in lactating cows. *J Dairy Sci* 80:1288-1295..
- Lucy MC, Staples CR, Michel FM, Thatcher WW. 1991. Effect of feeding calcium soaps to early postpartum dairy cows on plasma prostaglandin F_{2α}, luteinizing hormone, and follicular growth. *J Dairy Sci* 74:483-489.

- Mann GE, Lamming GE, Fisher PA. 1999. Progesterone control of embryonic interferon tau production during early pregnancy in the cow. *J Reprod Fert. Abst Series 21*, Abstr.37.
- Mattos R, Staples CR, Thatcher WW. 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Rev Reprod.* 5:38-45.
- McCann RP, Hansel W. 1986. Relationship between insulin and glucose metabolism and pituitary-ovarian functions in fasted heifers. *Biol Reprod* 34:630-636.
- McEvoy TG, Sinclair KD, Staines ME, Robinson JJ, Armstrong DG, Webb R. 1997. In vitro blastocyst production in relation to energy and protein intake prior to oocyte recovery. *J Reprod Fert. Abst Ser.* 19 Abstr. 132.
- McNamara JP, Harrison JH, Kincaid RL, Waltner SS. 1995. Lipid metabolism in adipose tissue of cows fed high fat diets during lactation. *J Dairy Sci* 78:2782-2796.
- Moallem U, Folman Y, Bor A, Arav A, Sklan D. 1999. Effect of calcium soaps of fatty acids and administration of somatotropin on milk production, preovulatory follicular development and plasma and follicular fluid lipid composition in high yielding dairy cows. *J Dairy Sci* 82 (11): 2358-2368.
- Moore JH, Christie WW. 1979. Lipid metabolism in the mammary gland of ruminant animals. *Progr Lipid Res.* 17:347.
- Pace-Asciak C, Wolfe LS. 1968. Inhibition of prostaglandin synthesis by oleic, linoleic and linolenic acids. *Biochim Biophys Acta* 152:784-787.
- Palmquist DL, Jenkins TC. 1980. Fat in Lactation Rations: Review *J Dairy Sci* 63:1-14.
- Ryan DP, Spoon RA, Williams GL. 1992. Ovarian follicular characteristics, embryo recovery and embryo viability in heifers fed high fat diets and treated with follicle-stimulating hormone. *J Anim Sci* 70:3505-3513.
- Sangsrivavong S, Combs DK, Sartori R, Armentano LE, Wiltbank MC. 2002. High feed intake increases liver blood flow and metabolism of progesterone and estradiol-17 β in dairy cattle. *J Dairy Sci* 85:2831-2842.
- Sorensen AM, Hanzel W, Hauch WH, Armstrong DT, McEnntee K, Bratton RW. 1959. Causes and prevention of reproduction failures in dairy cattle. I. Influence of underfeeding and overfeeding on growth and development of Holstein heifers. *Cornell Agri Exp Sta Bull* 936 pp.
- Spicer LJ, Alpizar E, Echterkamp S. 1993. Effects of insulin, insulin-like growth factor I and gonadotropins on bovine granulosa cell proliferation, progesterone production, estradiol production, and (or) insulin-like growth factor I production in vitro. *J Anim Sci* 71:1232-1241.
- Spitzer JC, Niswender GD, Seide GE, Wiltbank JN. 1978. Fertilization and blood levels of progesterone and LH in beef heifers on a restricted energy diet. *J Anim Sci* 46:1071-1077.
- Stanko RL, Fajersson P, Carver LA, Williams GL. 1997. Follicular growth and metabolic changes in beef heifers fed incremental amounts of polyunsaturated fat. *J Anim Sci* 75 (Suppl. 1): 223 (Abstr.).
- Staples CR, Burke JM, Thatcher WW. 1998. Influence of Supplemental fats on reproductive tissues and Performance of lactating cows. *J Dairy Sci* 81:856.
- Staples CR, Thatcher WW. 2000. Effects of dietary fat supplementation on reproduction in lactating dairy cows. *Adv Dairy Technol* 12:213-232.

Talavera F, Park CS, Williams G.L. 1985. Relationships among dietary lipid intake, serum cholesterol, and ovarian function in Holstein heifers. *J Anim Sci* 60:1045-1051.

Thomas MG, Bao B, Williams GL. 2007. Dietary fats varying in their fatty acid consumption differentially influence follicular growth in cows fed isoenergetic diets. *J Anim Sci* 75: 2512-2519.

Thomas MG, Williams GL. 1996. Metabolic hormone secretion and FSH-induced superovulatory responses of beef heifers fed dietary fat supplements containing predominantly saturated or polyunsaturated fatty acids. *Theriogenology* 45:451-458.

Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Enright WJ, Zinn AD, Fogwell RL. 1990. Energy balance and body condition influence luteal function in Holstein heifers. *Dom Anim Endocr* 7:135-148.

Villagómez AE. 2000. Balance Energético y frecuencia del amamantamiento en funciones reproductivas de vacas de doble propósito durante el anestro posparto. Tesis de Doctorado F.M.V.Z, U.N.A.M. México, D.F.

Wehrman ME, Welsh TH, Williams G.L. 1991. Diet induced hyperlipidemia in cattle modifies the intrafollicular cholesterol environment, modulates ovarian follicular dynamics and hastens the onset of postpartum luteal activity. *Biol Reprod* 45:514-523.

Williams GL. 1989. Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipid. *J Anim Sci* 67:785-793.

Williams GL, Stanko RL. 2000. Dietary fats as reproductive nutraceuticals in beef cattle. *Proc Am Soc Anim Sci* p.68.

Wiltbank JN, Gregory KE, Swiger LA, Ingalls JE, Rothlisberger JA, Koch RM. 1966. Effects of heterosis on age and weight at puberty in beef heifers. *Ibid.* 25:744-51.