

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**LA SEMILLA DE GIRASOL ENTERA COMO
FUENTE DE LÍPIDOS POLIINSATURADOS
PARA VACAS LECHERAS EN PASTOREO**

Por

Alejandro Mendoza Aguiar

**Tesis presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de**

**Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencia Animal**

URUGUAY

2008

PÁGINA DE APROBACIÓN

Ing. Agr. PhD. Laura Astigarraga. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía. Presidente del tribunal.

DMTV PhD. Ana Meikle. Laboratorio de Técnicas Nucleares, Facultad de Veterinaria. Vocal.

DMV PhD. Raquel Pérez. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía. Vocal.

Dr. PhD. Alí Saadoun. Laboratorio de Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias. Vocal.

TUTOR: _____

Ing. Agr. PhD. Alejandro La Manna. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

COTUTOR: _____

Ing. Agr. PhD. Pablo Chilibróste. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía.

COTUTOR: _____

DMV PhD. Daniel Cavestany. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

AUTOR: _____

FECHA: _____

Ing. Agr. Alejandro Mendoza Aguiar

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su constante e incondicional apoyo en esta etapa de mi vida.

A mi tutor, Alejandro La Manna, y a mis cotutores, Pablo Chilibroste y Daniel Cavestany, por su permanente guía y compromiso con este trabajo.

A todos los integrantes del tribunal de defensa de la tesis, al Ing. Agr. Valentín Picasso, al Dr. Rodolfo Ungerfeld y a la Dra. Carolina Viñoles, por sus valiosos comentarios y sugerencias, que posibilitaron la mejora de este trabajo respecto al manuscrito original.

A la Facultad de Agronomía, por la posibilidad de ser parte de la primera generación de estudiantes que realizaron estudios de maestría en Ciencias Agrarias en Uruguay, a los docentes y compañeros de la orientación Producción Animal del programa de posgrado, y a Oscar Bentancur y Jorge Franco por su colaboración en la realización del análisis estadístico de la tesis.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y la estación experimental “Dr. Alberto Boerger”, por el apoyo económico para poder realizar esta maestría y por la posibilidad de realizar el trabajo de campo de esta tesis en sus instalaciones.

A Yamandú Acosta, Georgget Banhero, Inés Delucchi, Henry Durán, Enrique Fernández, Juan Mieres y Daniel Vaz Martins, por su permanente buena disposición y consejos, y a todos los funcionarios del tambo, especialmente a Ignacio Torres, por su ayuda en distintas etapas del trabajo de campo.

A todas las personas que hicieron que los días transcurridos en INIA “La Estanzuela” no fueran tan largos, especialmente a la familia López: Esteban, Raquel, Shirley, María, Tomás y Bruno, a Álvaro Messa, Daniela Crespi, María Eugenia Fernández, Augusto Ferrari, Bernardo Del Campo, Alejandro García, Alejandro Von Achenbach, Sonia Banegas, Eduardo Pérez, Leonidas Carrasco y Yamandú Mendoza.

A todos los tesistas que pasaron por la Unidad de Lechería, especialmente a Ernesto Artía, Paola Castro, Fernando Clavell, Ignacio Dodera, Cristian Guedes, Rosalía Macías y Gimena Moré, por su invaluable ayuda durante el trabajo de campo de esta tesis.

A los funcionarios de biblioteca de INIA LE, especialmente a Graciela Vila y Alejandra Díaz, por su permanente apoyo, y del laboratorio de Calidad de Leche, de Nutrición Animal, y de Suelos y Aguas.

A todos los integrantes del Departamento de Bovinos y Nutrición de Facultad de Veterinaria, por su colaboración durante la etapa final de la redacción de la tesis, y por formar parte de esta nueva y hermosa etapa de mi vida profesional.

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Ingredientes utilizados en los concentrados comerciales y composición química de los alimentos utilizados en el experimento | 29 |
| Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados y prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: consumo y composición química de las dietas consumidas (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$, y las tendencias, $p < 0,10$)..... | 38 |
| Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados y prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: producción y composición de leche (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$)..... | 40 |
| Cuadro 4. Prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: CC, metabolitos plasmáticos, IGF-I y variables reproductivas (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$, y las tendencias, $p < 0,10$)..... | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Evolución del consumo de materia seca de ensilaje de trigo (A) y total (B) durante las primeras semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, multíparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM. | 39 |
| Figura 2. Evolución de la producción de leche durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, multíparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM. | 42 |
| Figura 3. (A): Evolución del porcentaje de grasa láctea durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). B): Evolución de la producción de grasa láctea durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, multíparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM. | 43 |
| Figura 4. Medias de mínimos cuadrados () e intervalo de 95% de confianza para la variable proporción de muestras de leche con alta estabilidad térmica para los 60 días del experimento, según tratamiento (letras distintas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$)). | 45 |
| Figura 5. Evolución de la condición corporal durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), de vacas primíparas (A) y multíparas (B) según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM. | 48 |
| Figura 6. Evolución de la concentración plasmática de AGNE (paneles A y B) y glucosa (paneles C y D) durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), según paridad (primíparas = paneles A y C; multíparas = paneles B y D) y tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM. | 49 |
| Figura 7. Evolución de la concentración plasmática de β OHB (A) y colesterol (B) durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM. | 51 |
| Figura 8. Medias de mínimos cuadrados () e intervalo de 95% de confianza para la variable proporción de vacas que ovulan durante la primera onda folicular posparto, según tratamiento y paridad (letras distintas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$)). Se detectó efecto de tratamiento ($p < 0,05$), paridad ($p < 0,01$) y una interacción entre tratamiento y paridad ($p < 0,04$). L1 y L2 = vacas primíparas y multíparas, respectivamente. | 53 |

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN..... | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| LISTA DE CUADROS..... | V |
| LISTA DE FIGURAS..... | VI |
| RESUMEN..... | IX |
| ABSTRACT..... | XI |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| EL PERÍODO DE TRANSICIÓN ENTRE LA GESTACIÓN AVANZADA Y EL INICIO DE LA LACTANCIA EN LA VACA LECHERA | 4 |
| EL REINICIO DE LA CICLICIDAD OVÁRICA POSPARTO EN LA VACA LECHERA | 5 |
| Importancia sobre la eficiencia reproductiva | 5 |
| Fisiología del reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de la vaca lechera | 6 |
| El reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de la vaca lechera en condiciones pastoriles | 8 |
| EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN COMO ESTRATEGIA PARA DISMINUIR LA LONGITUD DEL ANESTRO POSPARTO DE LA VACA LECHERA: EL CASO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON LÍPIDOS | 11 |
| Efectos de la suplementación con lípidos sobre el reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de hembras bovinas | 12 |
| Mecanismos de acción de los lípidos sobre la dinámica folicular de hembras bovinas | 14 |
| <i>Colesterol y síntesis de esteroides</i> | 15 |
| <i>Ácido araquidónico y prostaglandina F_{2α}</i> | 18 |
| <i>LH y FSH</i> | 19 |
| SUPLEMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS CON LÍPIDOS | 20 |
| Efectos de la suplementación con lípidos sobre el consumo, la producción y la composición de leche | 20 |
| Efectos de la suplementación con semilla de girasol sobre el consumo, la producción y composición de leche | 23 |
| HIPÓTESIS | 26 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 27 |
| ANIMALES Y TRATAMIENTOS | 27 |
| PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE, Y CONDICIÓN CORPORAL | 29 |
| DETERMINACIÓN DE CONSUMO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS | 30 |
| DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD LUTEAL Y BIOQUÍMICA DE SANGRE | 32 |
| ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 34 |
| RESULTADOS..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS Y CONSUMO | 36 |
| PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE | 41 |
| CONDICIÓN CORPORAL, PERFILES METABÓLICOS E IGF-I | 45 |
| REINICIO DE LA ACTIVIDAD LUTEAL POSPARTO | 52 |
| DISCUSIÓN | 54 |
| COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS Y CONSUMO | 54 |
| PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE | 55 |
| CONDICIÓN CORPORAL, PERFILES METABÓLICOS E IGF-I | 57 |
| REINICIO DE LA ACTIVIDAD LUTEAL POSPARTO | 58 |
| CONCLUSIONES..... | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |
| ANEXOS | 84 |
| ANEXO 1. RESUMEN DE EXPERIMENTOS QUE EVALUARON LOS EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON LÍPIDOS SOBRE LA DINÁMICA FOLICULAR Y EL REINICIO DE LA CICLICIDAD OVÁRICA POSPARTO DE HEMBRAS BOVINAS..... | 84 |
| ANEXO 2. RESUMEN DE EXPERIMENTOS QUE EVALUARON LOS EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON SEMILLA DE GIRASOL SOBRE EL CONSUMO, LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE DE VACAS | 88 |
| PUBLICACIÓN | 91 |

RESUMEN

La semilla de girasol es un alimento que presenta una elevada concentración de energía y proteína y que podría ser usado como suplemento para vacas lecheras en pastoreo durante otoño e invierno, cuando la disponibilidad de pastura es escasa. Sin embargo, su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados podría tener efectos adversos sobre el consumo, la producción y la composición de leche. El consumo de ácidos grasos poliinsaturados podría modificar la dinámica folicular y eventualmente reducir la longitud del intervalo parto a primera ovulación en vacas lecheras, a través de cambios en la concentración de metabolitos como el colesterol u hormonas como la IGF-I. El uso de semillas de girasol entera podría evitar los efectos adversos de los AGPI a nivel del rumen y favorecer su pasaje sin ser alterados al tracto digestivo posterior, entrar a la circulación general y ser captados por distintos tejidos reproductivos donde podría esperarse un efecto positivo sobre el desarrollo y crecimiento folicular, y eventualmente, sobre el reinicio de la actividad ovárica posparto.

Se realizó un experimento para evaluar el efecto de la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados provenientes de la semilla de girasol en dietas isocalóricas e isoproteicas sobre el consumo, la producción, composición y estabilidad térmica de la leche, la condición corporal, los perfiles metabólicos y las características del reinicio de la actividad ovárica posparto de vacas lecheras en pastoreo en lactancia temprana. Se estratificaron 48 vacas Holstein preñadas según la paridad (24 primíparas y 24 multíparas) y dentro de cada grupo se asignaron al azar a los siguientes tratamientos: 0 (G0), 0,7 (G0.7) y 1,4 (G1.4) kg de semilla de girasol entera/vaca/día. El experimento se desarrolló durante dos meses a partir del parto. Las dietas, que además consistieron de pastoreo de praderas de gramíneas y leguminosas, ensilaje de trigo y concentrados, fueron diseñadas para ser isocalóricas e isoproteicas (1,6 Mcal ENL/kg MS, 16,7% PC). Durante el experimento se determinó el consumo voluntario de alimentos, la producción, composición y estabilidad térmica de la leche, la condición corporal, la concentración plasmática de metabolitos e IGF-I, y las características del reinicio de la actividad ovárica posparto (por ultrasonografía).

La suplementación con semilla de girasol entera no tuvo efecto sobre el consumo de materia seca, energía o proteína, la producción de leche (G0=23,5, G0.7=24,2, G1.4=24,5 kg/día) o el rendimiento y contenido de grasa (G0=3,89, G0.7=4,00, G1.4=3,85%), proteína, lactosa o caseína, pero el contenido de urea en leche fue mayor ($p<0,001$) en G1.4 (G0=22,9 mg/dl, G0.7=23,3 mg/dl, G1.4=26,3 mg/dl). Entre 54% y 56% de las muestras de leche de los tratamientos G0.7 y G1.4 presentaron alta estabilidad térmica (coagularon luego de 20 minutos a 140 °C) pero solo 30% en G0. No se detectó interacción entre tratamiento y paridad para ninguna de las variables antes mencionadas. Mientras que en los tratamientos G0.7 y G1.4, 7/8 y 6/8 vacas primíparas ovularon durante la primera onda folicular posparto, respectivamente, solo 1/8 lo hizo en G0, no existiendo diferencias entre las vacas multíparas. El intervalo parto a primera ovulación fue 44, 21 y 19 días para las vacas primíparas, y 22, 21 y 25 días para las multíparas, de los tratamientos G0, G0.7 y G1.4, respectivamente. Los tratamientos no tuvieron efecto sobre la condición corporal, la concentración plasmática de IGF-I (medida cuando el folículo dominante de la primera onda folicular posparto alcanzó su máximo diámetro) y los perfiles metabólicos de los animales, a excepción de ácidos grasos no esterificados y urea, que se incrementaron con la suplementación con semilla de girasol entera.

Se concluyó que la inclusión de semilla de girasol entera como fuente de ácidos grasos poliinsaturados hasta 1,4 kg/día o 6,7 % en la dieta de vacas lecheras primíparas y multíparas en pastoreo durante la lactancia temprana no tuvo efectos adversos sobre el consumo, la producción y composición de leche, aunque incrementó su estabilidad térmica, y redujo el intervalo parto a primera ovulación en las vacas primíparas pero no en las multíparas. Aunque no pudo establecerse el mecanismo preciso que explicara dicho resultado, no estuvo asociado a cambios en la concentración plasmática de colesterol o IGF-I (cuando el folículo dominante alcanzó su máximo diámetro).

ABSTRACT

Whole sunflower seeds are a feedstuff that a high concentration of energy and protein, and could be used as a supplement for grazing dairy during autumn and winter, when forage availability is lower. However, its high concentration of polyunsaturated fatty acids may have adverse effects on intake, milk production or composition. The intake of polyunsaturated fatty acids may modify follicular dynamics and eventually reduce the length of the interval from calving to first ovulation in dairy cows, through changes in the plasma concentration of metabolites like cholesterol or hormones like IGF-I. The use of whole oilseeds may slow down the release of polyunsaturated fatty acids into the rumen, reducing the adverse effects on rumen microflora hence a significant proportion could bypass the rumen without being hydrogenated, enter into general circulation and be delivered to different reproductive tissues where a positive effect could be expected on follicular growth and development and, eventually, on resumption of oestrous cycles

An experiment was carried out to evaluate the effects of three levels of polyunsaturated fatty acids from whole sunflower seeds in isocaloric and isoproteic diets on intake, production, composition and heat stability of milk, body condition score, metabolic profiles and characteristics of the reinitiation of postpartum ovarian activity in primiparous and multiparous grazing dairy cows in early lactation. Forty eight Holstein pregnant cows were stratified according to parity (24 primiparous and 24 multiparous) and within each group were randomly assigned to the following treatments: 0 (SS0), 0.7 (SS0.7) y 1.4 (SS1.4) kg of whole sunflower seeds/cow/day. The experiment lasted for two months after calving. The diets, which also consisted of direct grazing of improved pastures, whole-plant wheat silage and concentrates, were designed to be isocaloric and isoproteic (1,6 Mcal NEL/kg MS, 16,7% CP). Measurements of dry matter intake, milk production, composition and heat stability, body condition store, plasma concentration of metabolites and IGF-I, and characteristics of the first follicular wave postpartum (by ultrasonography) were taken during the experiment.

Supplementation with whole sunflower seeds had no effect on dry matter, energy or protein intake, milk production (SS0=23,5, SS0.7=24,2, SS1.4=24,5 kg/day), yield or percentage of fat (SS0=3,89, SS0.7=4,00, SS1.4=3,85%), protein, lactose or casein, but

milk urea nitrogen was higher ($p < 0,001$) in SS1.4 treatment (SS0=22,9, SS0.7=23,3, SS1.4=26,3 mg/dl). Between 54% and 56% of milk samples in treatment SS0.7 and SS1.4 had high heat stability (coagulated after 20 minutes of being placed at 140 °C) but only 30% in SS0. No treatment x parity interaction was detected for any of these variables. In treatments SS0.7 and SS1.4, 7/8 and 6/8 primiparous cows ovulated the first follicular wave PP, compared with only 1/8 primiparous cow in treatment SS0, while there were no treatment differences in multiparous cows. The interval from calving to first ovulation was 44, 21 and 19 days for the primiparous, and 22, 21 and 25 days for the multiparous cows, in treatments SS0, SS0.7 and SS1.4, respectively. Treatments had no effect on body condition score, plasma IGF-I (measured when dominant follicle of the first follicular wave postpartum reached its maximum diameter) and metabolic profiles, except non-esterified fatty acids and urea, which were increased by WSS supplementation.

It was concluded that intake of polyunsaturated fatty acids (whole sunflower seeds up to 1.4 kg per day or 6.7% of the diet) did not affect intake, milk production or composition of grazing dairy cows in early lactation, but increased its heat stability, and reduced the interval from calving to first ovulation in primiparous but not in multiparous cows. Although the precise mechanism for these results is unclear, it was not related to changes in the plasma concentrations of cholesterol or IGF-I (when dominant follicle achieved its maximum diameter).

INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva de un rodeo de vacas lecheras puede definirse como una medida del logro biológico de toda la actividad reproductiva, que representa los efectos integrados de los distintos factores involucrados (i.e. estro, ovulación, fertilización, implantación, gestación y parto (Spielman y Jones, 1939)). El desempeño reproductivo de un rodeo lechero afecta directa o indirectamente el resultado económico del predio a través de su efecto sobre distintas variables como por ejemplo: a) la producción de leche durante la vida productiva de la vaca, b) la tasa de descarte de animales, c) la tasa de progreso genético para características de importancia económica y d) el número de reemplazos producidos (Britt, 1985). Ha sido sugerido que un intervalo entre partos de 12 meses permite obtener el mejor resultado económico en un predio lechero (Dijkhuizen et al., 1985). Considerando que la duración de la gestación en bovinos es prácticamente constante (282 días), ello supone que luego del parto y en un período de 83 días, la vaca debe: a) tener una involución uterina normal, b) reiniciar su ciclicidad ovárica, c) ser detectada en celo y d) quedar preñada (Rhodes et al., 2003; Roche, 2006).

Uno de los componentes de una adecuada eficiencia reproductiva es un rápido reinicio de la ciclicidad ovárica (**RCO**) posparto (**PP**), ya que el retraso en la misma conduce a una prolongación del intervalo parto a concepción y del intervalo entre partos (Darwash et al., 1997; Royal et al., 2002). El RCO coincide con el comienzo de la lactancia, un período donde la vaca tiene una alta demanda de nutrientes (dirigidos principalmente hacia la glándula mamaria), pero donde su consumo aún no puede cubrir la misma (Bell, 1995). Por lo tanto, el momento de la primera ovulación PP ocurre en un momento de balance de energía negativo de magnitud variable, que si bien no afecta el inicio del desarrollo y crecimiento folicular, sí puede causar la atresia del folículo dominante, debido a alteraciones a nivel del eje hipotálamo - hipófisis - ovario, con la consiguiente prolongación del reestablecimiento de la actividad luteal (Beam y Butler, 1999).

En Uruguay este problema podría verse acentuado por varios motivos: a) la gran mayoría de los sistemas de producción de leche son de base pastoril, y es conocido que en

estas condiciones el consumo puede estar limitado (Kolver y Muller, 1998), y el costo de búsqueda y cosecha de forraje supone un drenaje extra de energía, respecto a sistemas estabulados (Havstad y Malechek, 1982); b) la mitad de los partos de las vacas se concentran en otoño e invierno, en un momento donde la oferta de forraje disminuye debido a la menor tasa de crecimiento de las pasturas y/o a la reducción del área efectiva de pastoreo (Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero (INML), 2002; Ernst, 2003). Ambos factores contribuirían a acentuar el balance de energía negativo, y por lo tanto, podrían afectar el RCO PP. Por ejemplo, en un relevamiento realizado en Uruguay se reportó que, para vacas de parición de otoño, un 22,6% de los animales que tenían más de 120 días de paridas se encontraban en anestro (Ibarra, 2002). Datos del Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero (2002) indican que el intervalo parto a primer servicio promedio (que puede ser considerado un indicador de RCO) fue de 91 días, y asociado a esto, el 50% de las vacas tuvo un intervalo entre partos superior a 13 meses, y para un 20% fue mayor a 16 meses. En condiciones pastoriles, las vacas primíparas parecen adaptarse con mayor dificultad al inicio de la lactancia, como queda evidenciado en varios estudios nacionales, que reportan un mayor retraso del RCO PP y una mayor limitación del potencial productivo, asociado a un perfil endócrino y metabólico más desbalanceado de esta categoría respecto a las múltiparas (Ibarra y Chilbroste, 2003; Meikle et al., 2004; Cavestany et al., 2005).

Una estrategia para lograr un rápido RCO PP es minimizar el balance de energía negativo a inicio de lactancia a través del aporte de energía y/u otros nutrientes en distintos momentos del periparto de la vaca lechera, de forma de permitir una mejor adaptación a las exigencias de la lactancia, sin efectos adversos sobre la reproducción (Overton y Waldron, 2004). Una estrategia diferente es incluir alimentos con características de nutracéuticos en la dieta de vacas lecheras, es decir, alimentos que aportan nutrientes con efectos fisiológicos que van más allá del su rol generalmente aceptado como fuente de nutrientes (DeFelice, 1999 cit por Williams y Stanko, 1999). En este sentido, la suplementación con lípidos ha mostrado tener efectos positivos sobre distintos procesos reproductivos en hembras bovinas, entre ellos el desarrollo y crecimiento folicular. Sin embargo, no está claro el mecanismo de acción, que podría involucrar cambios en la dinámica de hormonas como el factor de crecimiento similar a insulina (**IGF-I**) o metabolitos como el colesterol

(Staples et al., 1998), siendo estos algunos de los posibles mediadores de los efectos de los lípidos sobre los procesos reproductivos. En varios casos la respuesta parece estar específicamente ligada al consumo de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) (Williams y Stanko, 1999; Robinson et al., 2002). Sin embargo, la mayor parte de la información sobre vacas lecheras se ha generado en condiciones de estabulación, mientras que la escasa información en condiciones pastoriles se ha obtenido con ganado de cría, con exigencias nutricionales diferentes a las de la vaca lechera a inicio de lactancia.

La semilla de girasol es un alimento que combina una alta densidad de energía y proteína, con un moderado contenido de fibra, por lo que podría ser un buen suplemento para vacas lecheras. Adicionalmente presenta un elevado contenido de lípidos, con una alta proporción de AGPI (Park et al., 1997). Si se ofreciera entera, la presencia de la cáscara intacta podría disminuir la velocidad de liberación de ácidos grasos al rumen (Kennelly, 1996) y por tanto una proporción significativa podría pasar a través de dicho órgano sin ser hidrogenada, entrar a la circulación general, y ser distribuida hacia distintos tejidos donde podría esperarse un efecto positivo sobre distintos procesos reproductivos, como el desarrollo folicular, y eventualmente un beneficio sobre el RCO PP. Sin embargo, el consumo excesivo de lípidos muy insaturados podría tener efectos adversos sobre el consumo (Allen, 2000), especialmente en vacas primíparas (Grummer et al., 2004), la producción y/o composición de leche (Palmquist y Jenkins, 1980), mientras que no se conoce su efecto sobre algunas características de interés industrial de la leche, como su estabilidad térmica.

Esta tesis tuvo el objetivo de evaluar el efecto de tres niveles de semilla de girasol entera (una fuente rica en AGPI) en la dieta de vacas lecheras primíparas y multíparas en pastoreo durante el inicio de lactancia, sobre: a) el consumo individual, b) la variación de condición corporal, c) la producción y composición de leche, d) el intervalo parto a primera ovulación, y e) los perfiles metabólicos y la concentración plasmática de la hormona IGF-I.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

EL PERÍODO DE TRANSICIÓN ENTRE LA GESTACIÓN AVANZADA Y EL INICIO DE LA LACTANCIA EN LA VACA LECHERA

Para la vaca lechera, el período de transición, entendido como el período comprendido entre tres semanas antes del parto hasta tres semanas luego del parto, es la etapa más crítica de todo el ciclo gestación - lactancia, ya que durante este breve período debe afrontar desafíos mucho mayores que en cualquier otro momento del ciclo productivo. Por ejemplo, al día 4 de la lactancia, la vaca demanda dos veces más aminoácidos, tres veces más glucosa y cinco veces más ácidos grasos que al día 250 de la gestación (Overton y Waldron, 2004). Frente a este súbito aumento de la demanda de nutrientes, el consumo voluntario, que se encuentra deprimido al momento del parto, se recupera más lentamente que el incremento de los requerimientos, lo que determina que la vaca se encuentre en un balance de energía negativo. Para hacer frente a esta situación, la vaca desarrolla un conjunto de adaptaciones con el objetivo de sostener las exigencias que le supone la gestación avanzada y el inicio de la lactancia, que involucran distintos tejidos y que pueden resumirse de la siguiente forma (Bell, 1995; Bauman, 2000): a) conversión de los depósitos de nutrientes a formas aprovechables por el animal (e.g. movilización de las reservas de grasa bajo la forma de ácidos grasos no esterificados (**AGNE**) y de las reservas lábiles de proteína), b) síntesis de nutrientes por el propio organismo a una mayor velocidad que lo habitual (e.g. aumento de la tasa de gluconeogénesis hepática), c) aumento de la oferta de nutrientes presentada a distintos órganos (e.g. incremento de la absorción desde el tracto digestivo e incremento del flujo sanguíneo hacia el hígado y la glándula mamaria) y d) desarrollo de estrategias de ahorro de nutrientes “clave” (e.g. sustitución del uso de glucosa por ácidos no esterificados y cuerpos cetónicos como fuente de energía en tejidos periféricos). Al proceso de adaptación del organismo para priorizar un estado fisiológico se le denomina homeorhesis, el cual está finamente regulado tanto por el sistema nervioso como por las variaciones de hormonas como la somatotropina, y posiblemente estradiol y prolactina (Bell, 1995; Bauman, 2000).

Los cambios en las prioridades metabólicas con el objetivo de sostener la lactancia deben permanecer en armonía con la regulación de la homeostasis, para que las condiciones del ambiente interno materno se mantengan y sea posible la adaptación a los cambios en el ambiente externo. Sin embargo, la exacerbación de algunas regulaciones homeorréticas pueden resultar en un quiebre de la homeostasis, conduciendo a varios desórdenes metabólicos (i.e. cetosis, hígado graso, hipocalcemia) (Chilliard, 1999). En particular, el momento de la primera ovulación PP está condicionado por la magnitud del déficit de energía de los animales en el inicio de lactancia (Beam y Butler, 1999), como se describirá más adelante.

EL REINICIO DE LA CICLICIDAD OVÁRICA POSPARTO EN LA VACA LECHERA

Importancia sobre la eficiencia reproductiva

En 1939, Spielman y Jones definieron la eficiencia reproductiva de un rodeo de vacas lecheras como “una medida del logro biológico de toda la actividad reproductiva”, que representa “los efectos integrados de todos los factores involucrados, i.e. estro, ovulación, fertilización, implantación, gestación y parto”, y consideraron una alta eficiencia reproductiva como una característica deseable desde el punto de vista económico en los predios lecheros.

Ha sido sugerido que un intervalo entre partos de 12-13 meses permite obtener el mejor resultado económico de un predio lechero, al menos en condiciones de estabulación (Dijkhuizen et al., 1985). Considerando que la duración de la gestación en bovinos es prácticamente constante (282 días), ello supone que luego del parto y en un período de 83 días, la vaca debe: a) tener una involución uterina normal, b) reiniciar su ciclicidad ovárica, c) ser detectada en celo y d) lograr una alta tasa de concepción (Rhodes et al., 2003; Roche, 2006). Fallas en lograr adecuados resultados en cada uno de estos índices pueden comprometer el logro de una adecuada eficiencia reproductiva.

En general, se considera que la involución uterina no es una limitante para el re-establecimiento de la fertilidad PP, ya que generalmente se completa antes del comienzo

del período de servicios (Lucy, 2003), aunque en determinados casos la contaminación bacteriana del útero puede derivar en distintas complicaciones que pueden afectar la fertilidad de la vaca (Földi et al., 2006). En condiciones de pastoreo, la importancia de una adecuada detección de celos ha sido destacada por Cavestany (1999). Por otra parte, la concepción al servicio es la consecuencia combinada de distintos componentes (i.e. fertilización, desarrollo embrionario temprano y tardío, y el desarrollo fetal), cada uno de los cuales puede ser afectado por factores genéticos y ambientales (Grimard et al., 2006).

Un rápido RCO PP es importante para lograr una alta eficiencia reproductiva, tanto en sistemas de parición continua como estacional (Rhodes et al., 2003). El retraso de la primera ovulación PP, y por tanto del inicio de los ciclos estrales, está asociado a una baja eficiencia reproductiva, tanto en sistemas de producción de leche estabulados (Kawashima et al., 2006) como pastoriles (Cavestany et al., 2001). Esto es debido a que la vaca tiene menor cantidad de ciclos estrales de duración normal antes del comienzo de la estación de servicios (Thatcher y Wilcox, 1973), lo que se ha asociado con una menor fertilidad al primer servicio o menor tasa de preñez (Darwash et al., 1997; Cavestany et al., 2001; Kawashima et al., 2006), que incrementa el intervalo parto - concepción y por lo tanto el intervalo entre partos (Rhodes et al., 2003). Esto ha sido confirmado en estudios que reportan una correlación genética positiva entre la duración de este último y el establecimiento de la actividad luteal PP (Royal et al., 2002).

Fisiología del reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de la vaca lechera

En la vaca lechera, entre el día 4 y 5 PP ocurre un aumento de la concentración de hormona foliculo-estimulante (**FSH**), asociado a la disminución de estradiol plasmático, que precede a la emergencia de la primera onda folicular alrededor del día 5 a 7 PP (Beam y Butler, 1997). Esto determina la presencia de folículos de más de 10 mm de diámetro (folículo dominante) entre el día 8 y 11 PP, incluso en condiciones de severo déficit de energía (McDougall et al., 1995; Beam y Butler, 1997, 1998), lo que sugeriría que la aparición de la primera onda folicular PP ocurre independientemente del estado energético del animal y depende del reestablecimiento del aumento de FSH, asociado al fin de la gestación y el parto.

Por otra parte, la ovulación de un folículo dominante luego del parto depende del reestablecimiento de la pulsatilidad de la hormona luteinizante (**LH**), que estimula el crecimiento final de dicho folículo (Roche, 2006). En la medida que dicho folículo crece, produce mayor cantidad de estradiol, que llegado el momento “desencadena” el pulso pre-ovulatorio de LH. A inicio de lactancia, el balance de energía negativo reduce la secreción pulsátil de LH (Canfield y Butler, 1990) y reduce la concentración del factor de crecimiento similar a insulina (**IGF-I**) en plasma, que estimula la proliferación y la capacidad de síntesis de esteroides por parte de las células de la teca y de la granulosa del folículo (Spicer et al., 1993a; Spicer y Stewart, 1996). Una baja pulsatilidad de LH conduce a una menor producción de andrógenos por las células de la teca folicular, lo que junto a la falta de estimulación del sistema enzimático aromatasa por la IGF-I dentro del folículo, conduce a una baja producción de estradiol, incapaz de desencadenar el pico pre-ovulatorio de LH, determinando la atresia del folículo (Roche et al., 2000). Asimismo, otras hormonas (leptina, somatotropina) y/o metabolitos (glucosa, neuropéptidos, AGNE) estarían involucrados en el control del crecimiento y desarrollo folicular (Diskin et al., 2003).

Por lo tanto, un prolongado IPOV en vacas lecheras no sería debido a la ausencia de folículos dominantes, sino a la falla de los mismos en ovular (Roche et al., 2000). En este sentido, se han propuesto tres posibles patrones de desarrollo folicular basado en el destino del folículo dominante de la primera onda folicular PP (Beam y Butler, 1999): (1) ovulación del folículo dominante; (2) desarrollo de un folículo dominante que no ovula durante la primera onda folicular PP, seguido de ondas de desarrollo folicular adicionales hasta la ovulación; o (3) desarrollo de un folículo dominante durante la primera onda folicular PP que se transforma en un quiste folicular. A partir de una revisión de diversos ensayos, Roche (2006) determinó que en 30-80% de las vacas lecheras el folículo dominante de la primera onda PP sigue el patrón (1), en 15-60% el patrón (2) y en 1-5% el patrón (3). El destino del folículo dominante de la primera onda folicular PP tiene un gran impacto sobre la longitud del IPOV: mientras que en las vacas lecheras que siguen el patrón (1) el IPOV es de 20 días, en el caso de vacas con patrones (2) y (3) el mismo es de alrededor de 50 días (Beam y Butler, 1999). Por otra parte, en condiciones de estabulación se ha determinado que una vez que la vaca lechera ovula luego del parto, normalmente continúa haciéndolo hasta la concepción (Butler y Smith, 1989).

El reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de la vaca lechera en condiciones pastoriles

En condiciones de pastoreo, el aporte de energía para sostener la producción de leche es menor respecto a sistemas estabulados, debido principalmente a: a) un consumo de materia seca insuficiente para sostener los requerimientos de producción de leche (Kolver y Muller, 1998) y b) el costo energético que supone la búsqueda y cosecha de forraje (Havstad y Malechek, 1982). Esto determina una mayor movilización de reservas y un perfil metabólico más desbalanceado de las vacas lecheras manejadas en pastoreo respecto a condiciones de estabulación (Kolver y Muller, 1998), reflejando un balance de energía negativo más acentuado, que podría afectar el eje reproductivo y retrasar el RCO PP (Beam y Butler, 1999).

En efecto, se ha reportado que el IPOV es mayor en sistemas pastoriles respecto a estabulados (MacMillan et al., 1996). En condiciones de estabulación la longitud promedio del IPOV de vacas lecheras oscila entre 18 y 36 días, siendo similar entre vacas primíparas y multíparas (Rajamahendran y Taylor, 1990; Smith y Wallace, 1998) o mayor en primíparas (Huszenicza et al., 1987; Lucy et al., 1992b; Clark et al., 2000), dependiendo probablemente del déficit de energía más o menos acentuado de los animales. De acuerdo con Thatcher et al. (2004), al día 60 PP solo 75% de las vacas lecheras se encuentran ciclando en sistemas estabulados. Por otra parte, en ensayos realizados en condiciones de pastoreo se ha reportado que el RCO PP ocurre en promedio a los 43-45 días PP (McDougall et al., 1995; MacMillan et al., 1996; Boken et al., 2005).

En Uruguay los sistemas de producción de leche se basan en el pastoreo directo durante todo el año de pasturas de gramíneas y/o leguminosas, anuales y perennes, sembradas puras y/o en mezcla, y el aporte de cantidades variables de concentrados y/o forrajes conservados. Sin embargo, en otoño e invierno la oferta de forraje es restringida, debido a: a) la disminución de las tasa de crecimiento de las principales especies forrajeras, b) la siembra tardía en el otoño de una proporción importante de las pasturas anuales invernales y pasturas perennes, que determina que no puedan ser pastoreadas durante otoño e invierno, o sean utilizadas pero con una insuficiente acumulación de biomasa, en condiciones restrictivas para la cosecha de forraje por parte del animal (Ernst, 2003; Chilbroste et al., 2004a). Esta disminución de la oferta de forraje durante el período otoño-

invernal coincide con un momento donde se concentran alrededor de 50% de los partos de las vacas (INML, 2002), estimulado por el mayor precio que recibe la leche producida en dicho período, por lo que para estos animales, el momento de mayor demanda de nutrientes transcurre cuando la oferta de pastura (el alimento más barato) es más escaso. En estas condiciones de oferta de pastura tan restrictiva sería esperable un afecto adverso sobre el consumo y el costo de cosecha de forraje (Chilibroste et al., 2004b), que profundizaría el balance de energía negativo y resultaría en perfiles metabólicos y endócrinos más desbalanceados.

En un estudio realizado en el país para caracterizar los perfiles metabólicos y endócrinos y el RCO de vacas lecheras de parición de otoño con un manejo similar al de tambos comerciales (dieta basada en una oferta restringida de pastura mezcla de gramíneas y leguminosas, concentrado y ensilaje de maíz), se observó que mientras las vacas multíparas reiniciaron su actividad luteal al día 21 PP, las primíparas lo hicieron al día 45 (Meikle et al., 2004). La condición corporal al parto no tuvo efecto sobre el IPOV en vacas multíparas pero sí en primíparas, de manera coincidente con lo encontrado por Cavestany et al. (2001). La mayor dificultad de las vacas primíparas en reiniciar la ciclicidad ovárica PP se vio reflejada en mayores concentraciones plasmáticas de AGNE y mayor proporción de animales con valores plasmáticos de β -hidroxibutirato (**β OHB**) superiores a 1 mM que las multíparas, reflejando una mayor movilización de reservas energéticas y un déficit de energía más profundo, y en balances de proteína y minerales más desbalanceados respecto a las multíparas. Asimismo, las vacas primíparas presentaron una menor concentración plasmática de IGF-I y leptina respecto a las multíparas.

De acuerdo a relevamientos realizados en predios comerciales de nuestro país indicarían que para vacas con parición durante el otoño habría un retraso en el RCO PP. Por ejemplo, en un relevamiento involucrando 33447 vacas de partos de otoño se reportó que 22,6% de las vacas que tenían más de 120 días de paridas se encontraban en anestro (Ibarra, 2002), mientras que en otro relevamiento que involucró 462 vacas lecheras de parición de otoño e invierno, y utilizando la longitud del intervalo parto a primer servicio como índice de RCO PP, se encontró que mientras en las vacas multíparas la longitud del mismo fue de 95 días en promedio, en las primíparas fue de casi 140 días (Ibarra y Chilibroste, 2003). De acuerdo con datos del INML (2002), el intervalo parto - primer servicio fue de 91 días para

el promedio de todas las vacas registradas (alrededor de 190000), 31 días mayor que la meta de 60 días propuesta Cavestany (2000), mientras que en las vacas primíparas fue de 114 días. Esto determinó que 50% de las vacas tuvieran un intervalo entre partos superior a 13 meses, y que para un 20% fuera mayor a 16 meses (INML, 2002).

El mayor IPOV de vacas primíparas en pastoreo, además de los aspectos señalados por Kolver y Muller (1998), inherentes a los sistemas pastoriles, se debería a: a) los requerimientos adicionales de crecimiento de las vacas primíparas, b) la competencia ejercida entre ambas categorías en perjuicio de las primíparas y c) la falta de programas específicos de alimentación de dicha categoría (Ibarra y Chilibroste, 2003).

Existe información indicando que es posible lograr un RCO PP en sistemas pastoriles tan rápido como en sistemas estabulados, independientemente de la paridad. Por ejemplo, en ensayos realizados en nuestro país, la longitud del IPOV de vacas lecheras varió entre 27-29 (Blanc et al., 2002; Meikle et al., 2005; Adrien et al., 2006), y 36-38 días (Cavestany et al., 2001, Cavestany et al., 2006). La longitud fue similar entre vacas primíparas y multíparas (Cavestany et al., 2001, Cavestany et al., 2006), o bien mayor en primíparas, asociado a una menor condición corporal al parto y/o mayor pérdida de reservas de esta categoría durante el período de transición (Meikle et al., 2005). Aproximadamente entre 73 y 80% de las vacas primíparas y 68% de las multíparas en estos experimentos se encontraban ciclando al día 50 PP (Adrien et al., 2006; Cavestany et al., 2006), aunque con excepciones, como en el ensayo reportado por Blanc et al. (2002), donde el 70% de las vacas primíparas tuvo su primera ovulación PP antes del día 30. Esta información coincide con ensayos recientes realizados en Nueva Zelanda, donde se reportaron IPOV de entre 28 y 36 días (promedio para vacas primíparas y multíparas), y entre 65 y 90% de los animales ciclando al día 50 PP (Burke et al., 2006; Meier et al., 2006). En estudios donde se comparó específicamente el IPOV de vacas lecheras en condición de pastoreo o estabulación se observó que el mismo tuvo la misma longitud en cualquiera de los dos sistemas de producción, tanto en vacas primíparas (Adrien et al., 2006) como multíparas (Boken et al., 2005).

De todos modos, los resultados obtenidos en condiciones pastoriles, tanto en Uruguay como en Nueva Zelanda, son menores que la meta de 90% de vacas ciclando al día 42 PP propuesta por Roche (2006) para obtener una alta eficiencia reproductiva. Las

diferencias obtenidas entre experimentos probablemente reflejen diferencias en el manejo nutricional y/o potencial de producción de las vacas, entre otros aspectos, que ocasionaron un déficit de energía de distinta magnitud y eventualmente perfiles metabólicos y endócrinos más o menos favorables para el RCO PP.

EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN COMO ESTRATEGIA PARA DISMINUIR LA LONGITUD DEL ANESTRO POSPARTO DE LA VACA LECHERA: EL CASO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON LÍPIDOS

La nutrición puede afectar la fertilidad de los rumiantes (entendida como el establecimiento exitoso de la preñez) de dos formas: a) directamente, a través del suministro de nutrientes específicos que son requeridos para los distintos procesos reproductivos, e b) indirectamente, a través de su efecto sobre la concentración de hormonas y metabolitos circulantes que son necesarios para el éxito de dichos procesos (Robinson et al., 2006).

Se han realizado distintos experimentos, en Uruguay y en otros países, tratando de manipular la alimentación de la vaca lechera en transición en pastoreo, tanto durante el período preparto (Cavestany et al., 2006) como en el posparto (Meikle et al., 2005) o en ambos simultáneamente (Meikle et al., 2005; Burke et al., 2006), con el fin de lograr una adecuada adaptación de las vacas lecheras al inicio de la lactancia, y lograr un óptimo desempeño productivo y reproductivo. En general, los experimentos antes citados han evaluado cambios en la oferta de energía y/o proteína ofrecida en los distintos momentos citados, con resultados diversos. En los últimos 15 años se ha investigado sobre otras estrategias tendientes al mismo objetivo, es decir, mejorar el desempeño reproductivo posparto de bovinos, una de las cuales supone la inclusión de nutrientes nutracéuticos en la dieta de los animales, entendiendo por nutracéutico a cualquier alimento o aditivo que posee efectos fisiológicos que van más allá del su rol generalmente aceptado como fuente de nutrientes (DeFelice, 1999 cit. por Williams y Stanko, 1999). Un ejemplo es el uso de lípidos en dietas de rumiantes, según se describe a continuación.

Efectos de la suplementación con lípidos sobre el reinicio de la ciclicidad ovárica posparto de hembras bovinas

La inclusión de alimentos ricos en lípidos es una práctica frecuentemente utilizada en sistemas estabulados de producción de leche como estrategia para adicionar energía a la dieta sin los riesgos de acidosis que generalmente conlleva el uso de una gran cantidad de granos de cereales (Palmquist y Jenkins, 1980). Asimismo, en los últimos tiempos también ha aumentado el interés por el empleo de este tipo de alimentos en sistemas pastoriles, por los mismos motivos que en los sistemas estabulados (Schroeder et al., 2004), cuyas ventajas se pueden resumir de la siguiente forma: a) incremento de la densidad energética de la dieta; b) incremento de la eficiencia energética; c) reducción de riesgo de acidosis; d) posibilidad de alterar el perfil de ácidos grasos de la leche.

Adicionalmente, otro efecto positivo que podría tener la suplementación con lípidos sería una estimulación de distintos procesos reproductivos. Por ejemplo, una revisión de Staples et al. (1998) que abarcó 20 estudios indicó que la inclusión de lípidos en la dieta de vacas lecheras tuvo efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo folicular, y en 11 de ellos incrementó el porcentaje de concepción al primer servicio o el porcentaje de preñez general. El efecto positivo está asociado frecuentemente al consumo de fuentes de lípidos con alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados (**AGPI**) de la familia Ω -6, como el ácido linoleico (Wehrman et al., 1991; Thomas et al., 1997; Williams y Stanko, 1999; Robinson et al., 2002), o bien de la familia Ω -3 como el ácido linolénico (Robinson et al., 2002; Ambrose et al., 2006; Petit y Twagiramungu, 2006) y los ácidos eicosapentanoico y docosahexanoico (Burke et al., 1997; Staples et al., 2000; Petit et al., 2002).

A continuación se concentrará la revisión en los efectos de la suplementación con lípidos sobre el desarrollo y crecimiento folicular, por ser estos los procesos que tendrían mayor incidencia sobre el RCO PP en bovinos (por mayor información sobre los efectos de la suplementación con lípidos sobre la función del cuerpo lúteo y la concepción, así como los posibles mecanismos de acción, ver Staples et al., 1998; Abayasekara y Wathes, 1999; Williams y Stanko, 1999; Mattos et al., 2000). Para ello, se recopiló información de 41 experimentos que utilizaron lípidos en la dieta de vacas primíparas y/o multíparas, de razas lecheras o carniceras, suplementadas durante el parto y/o PP, o durante la recría, y los

efectos sobre tres variables: a) número de folículos (población de folículos presente en la onda folicular bajo estudio, ver a continuación), b) tamaño de folículo dominante (dependiendo del experimento, corresponde al de la primera onda folicular PP, o al de la primera onda luego de un protocolo de sincronización de la ovulación, o al de la onda cuyo folículo dominante terminó ovulando, en ciclos normales) y momento de RCO PP (solo en aquellos experimentos en que pudo ser evaluada), que se resumen en el ANEXO 1. Se excluyeron experimentos que evaluaron específicamente fuentes de lípidos de origen marino sobre la reproducción, porque las fuentes de lípidos poliinsaturados más accesibles en nuestro país son de origen vegetal, y porque el número de experimentos es relativamente escaso. Los resultados de esta recopilación se presentan a continuación:

- Debido a la diversidad de los experimentos y los distintos objetivos con que fueron realizados, en un 51%, 63% y 41% de los mismos no disponían de información acerca de las variables número de folículos, tamaño de folículo dominante y RCO, respectivamente.
- En 20 experimentos se reportaron efectos de la suplementación con lípidos sobre la variable número de folículos, y en 12 de ellos (60%) hubo un efecto positivo de dicha práctica (o al menos un tratamiento de suplementación con lípidos con efectos positivos y el resto neutros), en siete no hubo efecto y en uno se observaron efectos neutros y adversos simultáneamente.
- De los 15 experimentos que reportaron los efectos de la suplementación con lípidos sobre tamaño de folículo dominante, en 8 de ellos (53%) se detectó un efecto positivo o mixto (al menos un tratamiento con efecto positivo y el resto neutro) y en los restantes no hubo efecto de la suplementación.
- En 27 experimentos se reportó algún aspecto del momento de RCO PP, y solo en 8 (29%) hubo un efecto positivo de la suplementación lipídica sobre la misma (es decir, la ciclicidad ovárica PP comenzó antes respecto al tratamiento control), o al menos hubo un tratamiento positivo y los restantes fueron neutros, mientras que en 17 no hubo efecto y en 2 causó un retraso en el RCO.

A partir de estos resultados se puede concluir que la suplementación con lípidos generalmente tiene un efecto positivo sobre la población folicular y el tamaño de los

foliculos, en vacas de razas lecheras o carniceras, primíparas, múltiparas, o durante la recría, y durante el ciclo estral normal (Lammoglia et al., 1997), luego de la sincronización del estro (Lucy et al., 1993; Thomas et al., 1997; Robinson et al., 2002) o durante el PP (Wehrman et al., 1991; Lammoglia et al., 1996; Beam y Butler, 1997; De Fries et al., 1998).

Sin embargo, los efectos de la suplementación con lípidos sobre el RCO PP parecen ser más erráticos, ya que en muchos casos no hubo efecto sobre la misma (Sklan et al., 1991; Carr et al., 1994; Beam y Butler, 1998; Meier et al., 2006). Si bien en algunos casos el efecto positivo de esta práctica sobre el crecimiento y desarrollo folicular PP estuvo asociado a una disminución de la longitud del IPOV (Wehrman et al., 1991; Beam y Butler, 1997), en otros casos no hubo una correspondencia entre un estímulo de la dinámica folicular y el RCO PP (Lammoglia et al., 1996; De Fries et al., 1998). De forma opuesta, en algunos casos la suplementación con lípidos provocó un reinicio más rápido de la actividad luteal PP, aunque no tuvo efecto sobre la dinámica folicular (García-Bojalil et al., 1998; Webb et al., 2001).

La variación de resultados podría estar asociada a diferencias en factores como: tipo y cantidad de lípidos incorporados a la dieta, características de los alimentos, momento y duración del período de suplementación, condición corporal de las vacas, entre otros, que habrían tenido un impacto diferencial sobre los mecanismos que vinculan la suplementación lipídica y la reproducción. Por ejemplo, los efectos positivos de la suplementación con lípidos sobre distintos procesos reproductivos y/o el RCO PP aparecen muchas veces asociado específicamente al consumo de lípidos con alto nivel de AGPI, como el ácido linoleico (Wehrman et al., 1991; Thomas et al., 1997; Robinson et al., 2002). Asimismo, si bien en muchos experimentos las dietas eran isocalóricas e/o isoproteicas, en otras no lo eran, por lo que no se puede descartar que un consumo diferencial de nutrientes explique parte de la variación de resultados entre experimentos.

Mecanismos de acción de los lípidos sobre la dinámica folicular de hembras bovinas

Se ha planteado que la alteración de la dinámica de metabolitos y/u hormonas debido al consumo de lípidos sería la causa del estímulo del desarrollo y crecimiento

folicular, que eventualmente permitiría un rápido RCO PP en bovinos. Algunos de los candidatos son metabolitos como el colesterol (Wehrman et al., 1991; Beam y Butler, 1997) o el ácido araquidónico y sus derivados (Abayasekara y Wathes, 1999), y/u hormonas como la IGF-I (Thomas et al., 1997), insulina (Lammoglia et al., 1997), LH (Hightshoe et al., 1991) o FSH (Williams y Stanko, 1999). A continuación se explicarán brevemente algunos de estos posibles mecanismos.

Colesterol y síntesis de esteroides

La suplementación con lípidos ocasiona un aumento de la concentración plasmática de colesterol debido a: a) una síntesis de colesterol, debido a una mayor síntesis de lipoproteínas en el intestino, asociada al consumo de lípidos, y b) por una reducción de la excreción fecal de sales biliares (Nestel et al., 1978). Por otra parte, debido a que el colesterol es sustrato para la síntesis de hormonas esteroideas (Beitz, 1993), un aumento de su concentración plasmática promovería una mayor síntesis de andrógenos en las células de la teca interna e intersticiales (Wehrman et al., 1991). Los andrógenos poseen un efecto crítico sobre el desarrollo del folículo pre-ovulatorio y sobre la síntesis de estradiol, que es determinante en la liberación pre-ovulatoria de LH (Lucy, 2003). Sin embargo, algunos autores reportaron que la captación de colesterol por el ovario no sería limitante para la síntesis de esteroides (Rabiee et al., 1999). En experimentos donde se caracterizó el RCO PP de vacas lecheras, una mayor concentración plasmática de colesterol estuvo en ocasiones asociada a IPOV más cortos o beneficios sobre otros procesos reproductivos (Kappel et al., 1984; Kadokawa y Yamada, 1999), pero en otros trabajos no hubo relación entre el RCO PP y la concentración plasmática de este metabolito (Rowlands et al., 1980; Clark et al., 2000).

El aumento de la concentración de colesterol plasmático debido a la ingesta de lípidos en ocasiones estuvo asociado con un estímulo positivo sobre la población folicular (Hightshoe et al., 1991) o el tamaño del folículo dominante (Robinson et al., 2002), pero también con efectos mixtos (neutros y positivos), asociado al tipo (Thomas et al., 1997) o cantidad (Beam y Butler, 1997; Stanko et al., 1997) de lípidos utilizada, que afectaría la

absorción intestinal de lípidos y por lo tanto la tasa de síntesis de colesterol, constituyente de las lipoproteínas formadas en el intestino delgado (Drackley, 2000).

Por otra parte, el aumento de la concentración plasmática de colesterol debido a la ingesta de lípidos en ocasiones ha estado asociado tanto a aumentos (Son et al., 1996) como disminuciones (Hightshoe et al., 1991; Oldick et al., 1997), o ausencia de efecto (Wehrman et al., 1991; Ryan et al., 1992) sobre la concentración plasmática de estradiol, mientras que en otros estudios se observaron tanto aumentos como disminuciones, dependiendo del tipo (Robinson et al., 2002) o cantidad (Lammoglia et al., 1996; Beam y Butler, 1997) de lípidos en la dieta. Lammoglia et al. (1997) sugirieron que la mayor concentración plasmática de estradiol podría estar asociada a una menor tasa de desaparición desde la circulación general debido al mayor consumo de lípidos.

En otros estudios, el aumento en la concentración plasmática de colesterol debido al consumo de lípidos estuvo asociado a un intervalo parto - reinicio de la actividad luteal más corto (Williams, 1989; Wehrman et al., 1991; Espinoza et al., 1995), pero no en otros experimentos (Lucy et al., 1993; Moallem et al., 1997). Si bien existe una correlación positiva entre la concentración de colesterol total en plasma y en el líquido folicular (Leroy et al., 2004), esta última no necesariamente representa la cantidad de sustrato disponible para el folículo (Grummer y Carroll, 1988). Asimismo, la relación entre la concentración plasmática de colesterol y el estímulo de distintos procesos reproductivos podría no ser del tipo causa-efecto, sino simplemente reflejo de un mejor balance de energía (Westwood et al., 2002), ya que existe una correlación positiva entre el colesterol y este último (Lean et al., 1992).

Una hipótesis diferente para explicar un RCO PP más rápido en vacas lecheras consumiendo dietas ricas en lípidos ha sido propuesta por Carr et al. (1994). Según estos autores, la ingesta de lípidos reduce la concentración de esteroides gonadales al estimular su catabolismo a nivel hepático, lo que disminuiría la retroalimentación negativa sobre la secreción de gonadotropinas a nivel del hipotálamo, permitiendo que se alcanzaran niveles suficientes para el adecuado proceso de crecimiento, maduración y eventualmente ovulación de los folículos.

Glucosa, insulina e IGF-I

El consumo de lípidos poliinsaturados tiene el potencial de afectar las poblaciones de microorganismos celulolíticos del rumen, en mayor magnitud que los lípidos inertes, y de esa forma podría alterar el perfil de los ácidos grasos volátiles producidos, incrementando la proporción de ácido propiónico en detrimento del ácido acético, particularmente en dietas con una alta proporción de concentrados (Elliott et al., 1997). Esto causaría una mayor cantidad de sustrato para la síntesis de glucosa vía gluconeogénesis (Chalupa et al., 1986; Mashek et al., 2002), que a su vez conduciría a un incremento de la concentración de insulina (Thomas y Williams, 1996).

El uso de lípidos como fuente de energía también permitiría un “ahorro” de glucosa (Staples et al., 1998), que ha sido señalada como una importante fuente de energía para el ovario y para el estímulo del crecimiento y desarrollo folicular en el ovario (Rabiee et al., 1999). Por otra parte, la insulina estimula la actividad de la enzima aromatasa, responsable de la producción de estradiol a partir de andrógenos (Butler et al., 2004), y la producción de IGF-I hepática (Molento et al., 2002; Butler et al., 2003). Esta última hormona estimula la mitosis de las células de la teca y granulosa del folículo ovárico *in vitro* (Spicer y Stewart, 1996; Khamsi y Armstrong, 1997), la síntesis de andrógenos y estradiol (Spicer et al., 1993a; Spicer y Stewart, 1996), y modula la acción de las gonadotropinas sobre las células de la teca y granulosa (Glister et al., 2001). La insulina es también un regulador positivo de la leptina (Block et al., 2003), hormona secretada principalmente por el tejido adiposo con efectos sobre la regulación de la homeostasis energética (Chilliard et al., 2005), y que ha sido involucrada en el RCO PP de vacas lecheras (Kadokawa et al., 2000).

Sin embargo, la suplementación con lípidos normalmente no afecta la concentración plasmática de glucosa (Palmquist y Conrad, 1978; Beam y Butler, 1997; Beam y Butler, 1998), mientras que los efectos sobre la concentración de insulina plasmática han sido variados, habiéndose reportado aumentos (Lammoglia et al., 1997), disminuciones (Palmquist y Moser, 1981) o ausencia de cambio (Beam y Butler, 1997; Robinson et al., 2002; Boken et al., 2005). Las diferentes respuestas de estas variables a la suplementación con lípidos, en parte, podría deberse a la fuente (largo de cadena y grado de insaturación) y

cantidad de lípidos utilizados. Por otra parte, pocos experimentos han evaluado los efectos de la suplementación sobre las concentraciones hormonales a nivel del líquido folicular.

Staples et al. (1998) propusieron que los cambios en la dinámica folicular debido a la ingesta de lípidos se deberían a la alteración de la dinámica de IGF-I. En efecto, se ha reportado que las LAD y lipoproteínas de muy baja densidad, cuya concentración plasmática se incrementa cuando se ofrecen dietas ricas en lípidos (Nestel et al., 1978), estimulan la producción de IGF-I por células de la granulosa *in vitro* (Bao et al., 1995). Sin embargo, en la mayoría de los casos la suplementación con lípidos no afectó la concentración plasmática de IGF-I, aún cuando se reportaron simultáneamente efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo folicular o el RCO PP (Spicer et al., 1993b; Beam y Butler, 1997; Lake et al., 2006). En un experimento, si bien no hubo efecto de la inclusión de lípidos sobre la concentración plasmática de IGF-I, se detectó un aumento sobre la concentración en el líquido folicular, independientemente del tamaño folicular, y simultáneamente hubo un estímulo del número y tamaño de folículos (Thomas et al., 1997). Si bien existe una correlación positiva entre la concentración de IGF-I en el plasma y el líquido folicular (Echternkamp et al., 1990), la concentración plasmática podría no ser el mejor indicador de la disponibilidad de IGF-I para el folículo (Lucy, 2000; Viñoles et al., 2005) debido a que la misma depende del nivel de proteínas ligantes de IGF y proteasas presentes en el ambiente folicular (Rajaram et al., 1997; Spicer, 2004).

Ácido araquidónico y prostaglandina F_{2α}

De acuerdo con Abayasekara y Wathes (1999), el incremento en el consumo de lípidos ricos en ácido linoleico podría incrementar el contenido de ácido araquidónico en los fosfolípidos de las células de la granulosa de los folículos ováricos. Cuando es liberado en respuesta al estímulo de gonadotropinas, el ácido araquidónico podría ejercer un efecto directo positivo sobre la esteroidogénesis en dichas células, o bien podría ser sustrato para la síntesis de prostaglandinas, que se ha demostrado poseen un efecto estimulante sobre la síntesis de esteroides.

Adicionalmente a sus efectos sobre la foliculogénesis, el ácido araquidónico y sus metabolitos tendrían un rol importante sobre el reestablecimiento de la ovulación en varias

especies de mamíferos (Mattos et al., 2000). En este sentido, el ácido araquidónico es sustrato para la síntesis de prostaglandina $F_{2\alpha}$ (**PGF_{2α}**), que tiene un rol importante en el reinicio de los ciclos estrales luego del parto (Randel et al., 1988), ya que es responsable de la involución del útero (Madej et al., 1984; Villeneuve et al., 1988), tendría efectos estimulantes sobre el sistema inmune y la función de neutrófilos durante el PP temprano (Thatcher et al., 2006), estimularía el crecimiento folicular (Villeneuve et al., 1988) y está implicada en el proceso de la ovulación (Espey, 1980). En contraste con los efectos del ácido linoleico, los AGPI de la familia Ω -3 (ácido linolénico, ácidos eicosapentanoico y docosahexanoico, entre otros) tienen un efecto inhibitor en la síntesis de PGF_{2α} producida en el ovario y el endometrio, por lo que su uso ha sido sugerido durante el período de servicios como forma de atenuar los mecanismos que desencadenan la luteólisis del cuerpo lúteo, y eventualmente reducir la mortalidad embrionaria temprana (Thatcher et al., 2006).

En estudios que usaron vacas de razas lecheras o carniceras durante el PP temprano, la suplementación con lípidos ricos en ácido linoleico incrementó la concentración plasmática del metabolito de PGF_{2α} (**PGFM**), lo que estuvo acompañado de un mayor crecimiento y desarrollo folicular (Lammoglia et al., 1996; Lammoglia et al., 1997; Robinson et al., 2002). También hay estudios donde este efecto no fue observado (Filley et al., 1999, 2000). En sentido opuesto, un rápido RCO PP y/o un estímulo del crecimiento y desarrollo folicular debido a la ingesta de lípidos ricos en ácido linoleico no necesariamente ocurrió asociado a cambios en la concentración de PGFM (Staples et al., 2000; Webb et al., 2001). Las diferencias entre experimentos posiblemente estén asociadas no solo a la distinta cantidad de lípidos en la dieta, sino también al distinto nivel de otras hormonas y/o metabolitos involucrados en el RCO PP en bovinos, que puedan ser afectados por la suplementación con lípidos.

LH y FSH

En algunos estudios, la suplementación con lípidos incrementó la concentración plasmática y la pulsatilidad de LH (Hightshoe et al., 1991), mientras que en otros se reportaron tanto aumentos como disminuciones (Sklan et al., 1994), o no hubo efecto (Lucy et al., 1991). Una mayor concentración plasmática de LH podría explicar el mayor tamaño

del folículo pre-ovulatorio observado frecuentemente en situaciones de suplementación con lípidos, debido a que habría un estímulo de la maduración final del folículo (Mattos et al., 2000), aunque se necesitaría más información para establecer el mecanismo a través del que los lípidos estimularían la secreción de LH y consecuentemente el crecimiento folicular.

Williams y Stanko (1999) sugirieron que la suplementación con lípidos tendría mayor influencia sobre la secreción de FSH que de LH, porque la evidencia indica que las modificaciones sobre el crecimiento folicular generalmente ocurren como cambios en el número de folículos. Sin embargo, es escasa la información referida al patrón de secreción de FSH de vacas consumiendo dietas ricas en lípidos (Beam y Butler, 1997).

SUPLEMENTACIÓN DE VACAS LECHERAS CON LÍPIDOS

Efectos de la suplementación con lípidos sobre el consumo, la producción y la composición de leche

En el rumen, los lípidos ingeridos son rápidamente hidrolizados por enzimas producidas por bacterias y protozoarios, lo que determina la liberación de ácidos grasos, que en el caso de dietas de rumiantes son predominantemente insaturados (Byers y Schelling, 1988). Los ácidos grasos insaturados libres son posteriormente saturados por hidrogenasas producidas por bacterias y protozoarios. En el caso del ácido linoleico, *cis*-9, *cis*-12 ácido octadecadienoico, el primer paso de la hidrogenación es la isomerización a *cis*-9, *trans*-11 ácido octadecadienoico (ácido ruménico), conocido como ácido linoleico conjugado (CLA) (Drackley, 2000). La mayor parte del CLA producido en el rumen es hidrogenado a *trans*-11 ácido octadecenoico (ácido vaccénico) y luego a ácido esteárico. Sin embargo, cantidades variables de isómeros *trans* y de CLA pueden escapar a la hidrogenación ruminal y ser absorbidos en el intestino delgado, pudiendo ser incorporados a la leche (Drackley, 2000).

Un exceso de lípidos a nivel del rumen puede tener efectos tóxicos sobre determinados microorganismos del rumen, alterando la digestión de la fibra y reorientando la producción de ácidos grasos volátiles desde ácido acético y butírico a ácido propiónico, especialmente en dietas con alta proporción de concentrados ricos en almidón (Jenkins,

1993). Además, bajo ciertas condiciones la suplementación con lípidos puede alterar las vías normales de hidrogenación, que causa la producción de ciertos ácidos grasos trans, que son potentes inhibidores de la síntesis de grasa en la glándula mamaria, como el *trans*-10, *cis*-12 ácido octadecadienoico (Bauman y Griinari, 2003). Asimismo, los ácidos grasos de cadena larga ejercen un efecto inhibitorio directo sobre la actividad de la acetil CoA carboxilasa, enzima clave en la síntesis de grasa en la glándula mamaria (Chilliard et al., 2000). En conjunto, los factores citados explicarían por que el consumo de lípidos con alto grado de insaturación frecuentemente reduce la síntesis de grasa y su concentración en la leche (Bauman y Griinari, 2003).

La respuesta en producción de leche debido al consumo de lípidos depende de muchos factores, como la etapa de lactancia, las características de la dieta base, o la fuente de lípidos que se ofrezca (NRC, 2001). En una revisión realizada por Chilliard (1993), la suplementación con lípidos no incrementó la producción diaria de leche corregida por grasa (LCG) en vacas que se encontraban a inicio de lactancia pero sí durante el pico de lactancia. Por otra parte, Schroeder et al. (2004) revisaron trabajos de suplementación de vacas lecheras en pastoreo con lípidos, y reportaron un aumento de la producción de leche cuando se utilizaron fuentes de lípidos saturados (respecto al testigo) pero no cuando fueron insaturados.

La falta de respuesta de la producción de leche cuando se utilizan fuentes de lípidos insaturados puede deberse a los efectos negativos que los lípidos ejercen sobre el consumo. Se ha planteado que la reducción del consumo voluntario de vacas lecheras debido a una ingesta excesiva de lípidos se debería a la acción adversa de los mismos sobre la población celulolítica del rumen, lo que enlentecería la digestión de la fracción fibra e incrementaría el tiempo de retención del alimento en el rumen, disminuyendo la capacidad de consumo, o bien a que los lípidos (en particular los insaturados) promoverían la secreción de colecistoquinina, una hormona que tiene un efecto depresor sobre el consumo (Allen, 2000). Sin embargo, en los escasos estudios donde se determinó el consumo de vacas lecheras en condiciones de pastoreo no se detectó un efecto adverso de la suplementación con lípidos sobre el mismo (Schroeder et al., 2004). Por otra parte, el consumo de las vacas primíparas sería más sensible a cambios en el contenido de lípidos dietarios comparado con las múltiparas (Grummer et al., 2004).

La respuesta en producción y porcentaje de grasa a la suplementación con lípidos dependerá del balance entre la mayor captación de ácidos grasos preformados por la glándula mamaria y la posible reducción de la síntesis *de novo* de ácidos grasos, debido a la acción de estos mismos o de intermediarios *trans* producidos debido a la alteración de la biohidrogenación ruminal (Schroeder et al., 2004). Este balance a su vez está asociado con la cantidad y el grado de saturación de los lípidos ofrecidos, no existiendo efectos deletéreos sobre el consumo, la producción o la calidad de leche cuando no se supera un valor de extracto al éter en la dieta de 5-7% (Palmquist y Jenkins, 1980; NRC, 2001). Schroeder et al. (2004) no reportaron diferencias significativas en síntesis de grasa debido a la inclusión de lípidos en la dieta de vacas lecheras en pastoreo, aunque numéricamente fue 9% mayor (respecto al testigo) cuando se utilizaron fuentes saturadas y 4% menor cuando fueron insaturadas. Por otra parte, mientras que el uso de fuentes de lípidos saturados incrementó significativamente el tenor graso de la leche respecto al no uso de estos suplementos (5%), el empleo de fuentes insaturadas lo redujo en 8%.

El empleo de lípidos protegidos de la acción microbiana en el rumen evitaría la formación de compuestos potencialmente inhibidores de la síntesis *de novo* de ácidos grasos, e incluso podría haber un efecto positivo sobre el porcentaje de grasa láctea, debido a una mayor transferencia de ácidos grasos a la misma (Palmquist y Jenkins, 1980). El uso de semillas oleaginosas enteras también podría proveer de un cierto grado de protección ruminal al disminuir la velocidad de liberación de ácidos grasos al rumen y/o limitar el acceso de los microorganismos a los lípidos del interior de la semilla, lo que teóricamente evitaría la alteración del ambiente ruminal (Kennelly, 1996; Chilliard y Ferlay, 2004).

Wu y Huber (1994), en una extensa revisión de experimentos de suplementación con lípidos, comunicaron que en la mayor parte de los mismos la síntesis de proteína no fue afectada pero frecuentemente la concentración de proteína láctea tendió a disminuir por un efecto de dilución, ya que la producción de leche normalmente fue estimulada debido al consumo de lípidos. Schroeder et al. (2004) no reportaron diferencias en el contenido de proteína de vacas lecheras en pastoreo cuando la fuente de lípidos usada era saturada, pero detectaron una reducción cuando era insaturada. Algunas causas que explicarían la menor tasa de incremento de la síntesis de proteína respecto a la producción de leche son: menor

disponibilidad de glucosa, incremento de la resistencia a insulina, o una disponibilidad de aminoácidos insuficiente ante la mayor producción de leche (Wu y Huber, 1994).

Efectos de la suplementación con semilla de girasol sobre el consumo, la producción y composición de leche

Las fuentes de alimentos con alta proporción de AGPI disponibles en Uruguay son: semillas oleaginosas (principalmente girasol y soja), subproductos del refinamiento de aceites vegetales (oleínas), de la industria arroceras (afrechillo de arroz integral) y de la industria pesquera (harina y aceite de pescado), y otros alimentos como las sales de calcio de ácidos grasos.

La semilla de girasol es un alimento que combina una alta densidad de energía (3,38 Mcal de energía neta para lactancia (ENL) kg/MS) y proteína (19,2%) con una moderada cantidad de fibra (NRC, 2001), por lo que podría constituir un excelente suplemento para vacas lecheras en pastoreo en lactancia temprana durante el otoño e invierno. Adicionalmente, su elevado contenido de grasa (45%), con una alta proporción de AGPI (ácido linoleico = 65-70% del total de AG) (Casper et al., 1988; Stegeman et al., 1992), podría tener beneficios sobre algunos procesos reproductivos. Si se ofreciera sin procesar, la presencia de la cáscara intacta podría disminuir la velocidad de liberación de ácidos grasos al rumen y/o dificultar el acceso de los microorganismos hasta el interior de la semilla, por lo que una proporción significativa de dichos ácidos grasos podría pasar dicho órgano sin ser hidrogenada (Kennelly, 1996; Chilliard y Ferlay, 2004), entrar a la circulación general, y ser distribuidos hacia distintos tejidos donde podría esperarse un efecto positivo sobre distintos procesos reproductivos, como el desarrollo folicular, y eventualmente, el RCO PP.

Para identificar las cantidades de semilla de girasol que podrían ser usadas en la dieta de vacas lecheras sin efectos adversos sobre el consumo, la producción y composición de leche, se resumió la información generada en distintos experimentos, que se detallan en el ANEXO 2. A partir de los resultados de los mismos, se puede plantear que no habría efectos negativos sobre el consumo por el agregado de hasta 4% de lípidos adicionales a los aportados por la dieta base bajo la forma de semilla de girasol (entera o con algún tipo de

procesamiento moderado), equivalente a una proporción de semilla no mayor a 8 - 10% de la dieta, y/o en la medida en que no se supere un 6% de EE en la dieta completa. Sin embargo, como la mayoría de los datos fueron obtenidos en sistemas estabulados que utilizan dietas totalmente mezcladas, los límites de inclusión no tienen por que ser válidos para sistemas pastoriles. Estos resultados estarían asociados a la falta de efecto del consumo de semilla de girasol sobre el ambiente ruminal, evidenciado en vacas lecheras (Rafalowski y Park, 1982; Finn et al., 1985; White et al., 1987; Gagliostro et al., 2004c), novillos (Drackley et al., 1985) y terneros (Sharma et al., 1986). Cuando se utiliza semilla de girasol entera o con un procesamiento mínimo, no habría una liberación tan rápida de AGPI capaz de alterar el ambiente ruminal (Kennelly, 1996; Chilliard y Ferlay, 2004) y si además el nivel de forraje en la dieta es adecuado, es esperable que no se detecten efectos adversos sobre el consumo. Asimismo, generalmente no se han reportado efectos adversos del consumo de semilla de girasol sobre la digestibilidad aparente en todo el tracto gastrointestinal de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda, energía bruta o fibra, tanto en vacas lecheras (Gagliostro et al., 2004c; Petit et al., 2004; Sarrazin et al., 2004) como en novillos (Drackley et al., 1985) o terneros (Sharma et al., 1986).

De los 24 experimentos revisados, solamente en tres se detectó una disminución de la producción de leche asociado a la ingesta de semilla de girasol, bien cuando se comparó con otras fuentes de lípidos no protegidos (Anderson et al., 1984; Petit et al., 2004), o cuando sustituyó a fuentes de almidón (Gagliostro et al., 2004a). En conjunto, los resultados de suplementación con semilla de girasol coinciden con los criterios de uso de lípidos en general, que indican que la utilización de cantidades moderadas de lípidos pueden mantener o incluso aumentar la secreción de leche, hasta un punto a partir del cual no aumenta más aún cuando se siga añadiendo lípidos a la dieta, para finalmente disminuir cuando se supera el límite tolerable. Esto último sería consecuencia de la alteración de la microflora ruminal, afectar el consumo y la digestibilidad de los nutrientes (Rafalowski y Park, 1982; Jenkins, 1998). Parecería lógico suponer entonces que ésta no se vería afectada si se respetan los rangos sugeridos cuando se hizo referencia a los efectos sobre el consumo.

A pesar que el consumo de lípidos poliinsaturados frecuentemente disminuye la síntesis de grasa y su concentración en la leche, los resultados de los experimentos

revisados sugieren que normalmente la suplementación con semilla de girasol no afecta dichas variables, siempre que se respeten los rangos antes señalados para consumo. El uso de cantidades mayores, o un procesamiento intenso de la semilla de girasol, que incrementaría la tasa de liberación de AGPI en el rumen y podría alterar la hidrogenación ruminal (con la consecuente producción de ácidos grasos trans que deprimirían la síntesis *de novo* de grasa en la glándula mamaria, Bauman y Griinari (2003)), serían las causas que explicarían algunos casos de disminución del contenido de grasa en leche (Casper et al., 1988; AbuGhazaleh et al., 2003; Sarrazin et al., 2004). Confirmando el efecto adverso de los AGPI sobre la síntesis de grasa láctea, el uso de grano de girasol de variedades “normales” (donde el ácido linoleico comprende entre 65-70% del total de ácidos grasos) deprimió la síntesis y/o porcentaje de grasa láctea, pero no cuando se usó grano de girasol de variedades desarrolladas para tener contenido de ácido oleico de 80-85% (Casper et al., 1988; AbuGhazaleh et al., 2003).

En general, la suplementación con semilla de girasol no afectó la síntesis de proteína láctea, y solo en pocos casos afectó negativamente el contenido de proteína, asociado a un efecto de dilución (Petit, 2003) o debido a una menor síntesis de proteína (Petit et al., 2004). En estos experimentos tampoco se detectaron diferencias en rendimiento o porcentaje de lactosa, o sobre el contenido de urea en leche (Stoll et al., 2003; Sarrazin et al., 2004; Wyss y Collomb, 2006).

La variación de reservas corporales, evaluadas a través de evolución de la condición corporal o el peso vivo, no fueron afectadas por la suplementación con semilla de girasol, tanto en condiciones de pastoreo (Gagliostro et al., 2004a) como de estabulación (McGuffey y Schingoethe, 1982; Markus et al., 1996; Ortiz et al., 1998; He et al., 2005).

HIPÓTESIS

- El suministro de lípidos poliinsaturados provenientes de la semilla de girasol entera, cuando es incluida hasta aproximadamente 8% de la dieta (base seca) de vacas lecheras primíparas y multíparas en pastoreo a inicio de lactancia, tendrá un efecto favorable sobre el tamaño del folículo dominante en la primera onda folicular y sobre el reinicio de la ciclicidad ovárica en el posparto, asociado a cambios en las concentraciones de metabolitos plasmáticos, como por ejemplo el colesterol.
- El suministro de lípidos poliinsaturados provenientes de la semilla de girasol entera, cuando es incluida hasta aproximadamente 8% de la dieta (base seca) de vacas lecheras primíparas y multíparas en pastoreo a inicio de lactancia, no afectará el consumo voluntario, la variación de condición corporal, o la producción, composición y estabilidad térmica de la leche.

MATERIALES Y MÉTODOS

ANIMALES Y TRATAMIENTOS

El uso de animales en este experimento se desarrolló de acuerdo a las regulaciones establecidas por la Ordenanza sobre uso de animales en experimentación, docencia e investigación universitaria de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Se seleccionaron 24 vacas primíparas y 24 vacas multíparas de la raza Holstein del rodeo de la Unidad de Lechería del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), en Colonia, Uruguay (S 34°29', O 57°44'), con partos previstos entre el 15 de febrero y 15 de marzo. De aquí en adelante, el término vaca primípara hará referencia a aquellos animales que comenzaban su primera lactancia al inicio del experimento, mientras que el término vaca multípara hará referencia a aquellos animales que comenzaban su segunda o mayor lactancia. Las vacas fueron divididas en dos grupos de acuerdo a la paridad (una, o mayor que una (promedio \pm desvío estándar de vacas multíparas = $3,5 \pm 1,2$ lactancias)), y fueron asignadas al azar a uno de los siguientes tratamientos: 0 (**G0**), 0,7 (**G0.7**) y 1,4 (**G1.4**) kg (materia fresca) (**MF**) de semilla de girasol entera (**SGE**) por vaca y por día.

Cada vaca recibió el nivel correspondiente de SGE inmediatamente luego del parto hasta el día 60 PP. Previo al inicio del período experimental, desde el día 28 antes de la fecha esperada de parto hasta el parto, todas las vacas recibieron una misma dieta. En este período, las vacas primíparas y multíparas pastorearon por separado en pasturas de gramíneas, constituidas principalmente por *Paspalum dilatatum* y *Cynodon dactylon* (proteína cruda (**PC**) = 12,2%, ENL = 1,23 Mcal/kg de materia seca (**MS**)), en franjas de cuatro días de duración y una oferta diaria de 20 kg MS por vaca (disponibilidad de forraje promedio = 3460 ± 750 kg MS/há). También se les ofreció 4 kg (MF) de afrechillo de maíz en pellets (PC = 15,9%, ENL = 1,88 Mcal/kg MS) en comederos colectivos. La condición corporal (**CC**) y peso vivo (**PV**) promedio al inicio de este período para las vacas primíparas y multíparas fue $2,7 \pm 0,4$ puntos (escala 1-5) y 512 ± 50 kg, y $2,6 \pm 0,5$ puntos y 585 ± 52 kg, respectivamente.

Durante el período experimental, las vacas pastorearon en pasturas mezcla de alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*), lotus (*Lotus corniculatus*) y festuca

(*Festuca arundinacea*), en franjas diarias, con una oferta diaria de forraje de 14 kg (MS) por vaca y día (disponibilidad de forraje promedio = 2900 ± 860 kg MS/ha). Diariamente se ofreció a cada vaca de forma individual, 17 kg (MF) de ensilaje de planta entera de trigo, y 7,0, 6,3 y 5,6 kg (MF) de concentrado comercial para G0, G0.7 y G1.4, respectivamente. Cada concentrado comercial fue diseñado para que luego de la adición de SGE al mismo, los distintos concentrados totales ofrecidos (concentrado comercial + SGE) fueran isoenergéticos e isoproteicos entre sí (cuadro 1). Las dietas completas (pastura + ensilaje + concentrado total) se evaluaron antes del comienzo del experimento utilizando los modelos de simulación propuestos por el NRC (2001) y del Cornell Net Carbohydrate and Protein System (Fox et al., 2003; versión 5.0), procurando que el consumo de energía y proteína, y el aporte de proteína microbiana al duodeno fuese similar para los distintos tratamientos (en el caso de la pastura, se asumió un consumo de 7 kg MS/vaca/día para todos los tratamientos, para los restantes alimentos se asumió que eran consumidos íntegramente).

Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día (6:30 AM y 5:30 PM.). El concentrado comercial y la SGE fueron mezclados previamente y ofrecidos en partes iguales durante cada ordeño a cada vaca. Luego del ordeño AM, todas las vacas pastorearon como un único grupo hasta el ordeño PM, y luego de éste se les ofreció el ensilaje de trigo en comederos individuales. Luego que todos los animales voluntariamente dejaron de consumir el ensilaje fueron llevados a un potrero donde permanecieron durante la noche hasta el ordeño AM. Luego de cada ordeño, en la pastura y durante la noche, todas las vacas tuvieron libre acceso a agua fresca y sales minerales.

Cuadro 1. Ingredientes utilizados en los concentrados comerciales y composición química de los alimentos utilizados en el experimento

| | Concentrado comercial | | | Semilla de girasol | Ensilaje de trigo | Pastura ⁴ |
|--|-----------------------|------|------|--------------------|-------------------|----------------------|
| | G0 | G0.7 | G1.4 | | | |
| Ingredientes (% de MF) | | | | | | |
| Grano de sorgo | - | 55,7 | 28,9 | - | - | - |
| Grano de maíz | 37,7 | 2,9 | - | - | - | - |
| Grano de trigo | 26,7 | - | - | - | - | - |
| Harina de girasol | - | 7,0 | 39,1 | - | - | - |
| Harina de algodón | 22,3 | 24,3 | - | - | - | - |
| Afrechillo de trigo | 11,3 | 7,1 | 27,9 | - | - | - |
| Urea | 0,2 | - | - | - | - | - |
| Carbonato de calcio | 0,8 | 1,3 | 1,3 | - | - | - |
| Fosfato bicálcico | - | 0,4 | 1,2 | - | - | - |
| Cloruro de sodio | 0,9 | 1,4 | 1,6 | - | - | - |
| Composición química¹ | | | | | | |
| MS | 89,3 | 89,3 | 89,6 | 91,2 | 23,4 | 22,9 |
| PC | 18,2 | 17,5 | 18,2 | 13,1 | 8,2 | 18,0 |
| FDN | 22,0 | 22,9 | 34,7 | 29,8 | 64,2 | 43,2 |
| FDA | 11,3 | 15,6 | 23,5 | 19,7 | 50,1 | 36,2 |
| LDA | 2,8 | 3,4 | 4,9 | 6,7 | 4,1 | 4,8 |
| EE | 3,2 | 2,5 | 1,8 | 46,6 | 2,9 | 2,6 |
| Cenizas | 6,0 | 7,0 | 8,4 | 3,1 | 12,2 | 12,0 |
| CNF | 52,4 | 53,1 | 40,7 | 9,5 | 13,9 | 24,4 |
| DMO ² | 83,5 | 78,6 | 79,1 | 65,0 | 49,3 | 68,2 |
| NIDN | 2,1 | 2,8 | 2,6 | 2,1 | 1,35 | 3,9 ⁵ |
| NIDA | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 1,9 | 0,21 | 1,1 ⁵ |
| ENL ³ | 1,86 | 1,77 | 1,59 | 3,07 | 1,25 | 1,45 |

¹Todos los datos expresados como % de MS, excepto MS (%) y ENL (Mcal/kg MS)

²Para la determinación de DMO de semilla de girasol, ver texto.

³Calculado asumiendo un consumo 2 veces por encima de mantenimiento (NRC, 2001)

⁴Cortada a 5 cm de altura, promedio de cuatro pasturas diferentes

⁵Valores tomados de tablas de composición de alimentos (NRC, 2001)

PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE, Y CONDICIÓN CORPORAL

La producción diaria de leche fue registrada desde el día 6 PP (aproximadamente luego de finalizada la producción de calostro) hasta el día 60 PP. La producción de leche fue transformada en producción de LCG de acuerdo a la ecuación: $LCG = \text{kg leche} \times (0,4 + 0,15 \times \% \text{grasa})$. Cada semana, se obtuvieron tres muestras compuestas de leche de cada vaca (con conservante), cada una ellas correspondiente a dos ordeñes consecutivos, que

fueron usadas para determinar contenido de grasa, proteína y lactosa por análisis de infrarrojo medio (Bentley Model 2000, Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, USA) de acuerdo a la metodología propuesta por IDF (2000), y nitrógeno ureico en leche (NUL) por análisis enzimático automatizado (ChemSpec Model 150, Bentley Instruments, Inc., Chaska, MN, USA) de la forma descrita por Lefier (1996). Otro conjunto de muestras sin conservante fue obtenido de forma antes indicada para determinar el contenido de paracaseína o caseína coagulable al cuajo (CAS) (Grappin y Lefier, 1993) y estabilidad térmica (ET). El contenido de CAS fue determinado por diferencia entre el contenido de nitrógeno total menos el contenido de nitrógeno en el suero, luego adicionar quimosina (Caglificio Clerice Spa, Milán, Italia; pureza: > 90%; fuerza: > 15000 IMCU/ml luego de la dilución), por análisis infrarrojo medio (Milko Scan 104A Model 1992, Foss Electric, Hillerød, Denmark). La ET fue medida como el tiempo de coagulación al calor, por el procedimiento subjetivo de Davies y White (1966). Se consideró que las muestras de leche tenían alta ET si ésta era igual o mayor a 20 minutos.

La CC fue determinada por un mismo observador semanalmente entre el 7 y 35 PP, utilizando el método de Edmonson et al. (1989). La CC también se determinó los días 21, 14, 7 previos a la fecha esperada de parto, y al momento del parto, para caracterizar el período pre-experimental. El PV fue determinado al día 28 previo a la fecha esperada de parto, utilizando una cinta que se coloca alrededor del perímetro torácico del animal (Dalton Supplies Ltd., Oxon, England), a la que se aplicó una presión constante de 5 kg (Whitaker, 2004). Dicho método fue validado en el mismo rodeo lechero donde se realizó el experimento por Cavestany (2004, datos no publicados).

DETERMINACIÓN DE CONSUMO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS

El consumo de MS (CMS) de cada vaca fue estimado durante las semanas 2, 3 y 4 PP. El consumo de concentrado total (concentrado comercial + SGE) y el ensilaje de planta entera de trigo fue determinado por diferencia entre la cantidad ofrecida y rechazada, mientras que el consumo de pastura fue estimado utilizando Cr₂O₃ (Nubiola, Medellín, Colombia, pureza: > 99,0%) como marcador externo (Merchen, 1993). Cada vaca fue

dosificada diariamente con 14 g de Cr_2O_3 desde el día 5 a 30 PP, y se tomaron muestras de heces en períodos de cinco días, durante los días 12 a 16, 19 a 23 y 26 a 30 PP, que fueron consideradas como las semanas 2, 3 y 4 PP, respectivamente. Cada vaca tuvo por lo menos siete días de dosificación con Cr_2O_3 previo a la extracción de heces. El Cr_2O_3 fue dosificado oralmente una vez por día, luego del ordeño AM, en una cápsula de gelatina (Torpac, Fairfield, NJ, EEUU), que se introdujo en el esófago del animal utilizando un trozo de manguera de plástico. Las muestras de heces se extrajeron diariamente antes del ordeño PM durante el período de cinco días antes mencionado, se secaron a 100 °C durante 72 horas y fueron molidas a un tamaño de 1 mm (Wiley Mill, Thomas Scientific, Philadelphia, PA, EEUU). Las muestras de heces se analizaron para determinar contenido de cromo con un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 3300, PerkinElmer, Wellesley, MA, EEUU). La producción de material orgánica (**PMO**) total en heces fue calculada usando la ecuación: $\text{PMO total en heces} = [(\text{g de Cr dosificado por día}) / (\text{g de Cr/g de materia seca de heces})] \times \% \text{ materia orgánica (MO) en heces}$. La PMO en heces atribuible al ensilaje de trigo, concentrado comercial y SGE fue calculado de la forma siguiente: $\text{PMO en heces atribuible al alimento X} = \text{consumo de MO del alimento X} \times (1 - \% \text{ digestibilidad } in vitro \text{ de la materia orgánica (DIVMO) del alimento X})$. La PMO de heces atribuible al consumo de pastura fue estimado como la diferencia entre la PMO total en heces y PMO en heces atribuible a los restantes alimentos, y luego fue usada para determinar el consumo de pastura según la ecuación: $\text{consumo de pastura} = [\text{PMO en heces atribuible a la pastura} / (1 - \% \text{ DIVMO de la pastura})] / \% \text{ MO de la pastura}$.

La disponibilidad de forraje por unidad de superficie se estimó cada semana en la pastura que se encontraban los animales, arrojando 15 cuadros (0,2 x 0,5 m por cuadro) al azar y cortando el forraje dentro de cada uno al ras del suelo. El forraje fue secado en estufa de aire forzado a 60° C hasta peso constante. Este dato fue usado para ajustar el área de la franja ofrecida a los animales, utilizando alambre eléctrico, tanto en el parto como en el posparto. Para estimar la DIVMO de la pastura consumida por las vacas se utilizó el mismo procedimiento, pero en este caso los cortes se realizaron a una altura de 5 cm. Semanalmente se tomaron muestras de cada concentrado comercial, SGE y ensilaje de trigo, formándose luego una muestra compuesta. Junto a las muestras de pastura cortadas a 5 cm de altura, fueron secadas y molidas a un tamaño de 1 mm (Wiley Mill, Thomas

Scientific, Philadelphia, PA, EEUU), y analizadas para determinar contenido de: MS, cenizas, PC, DIVMO, extracto al éter (**EE**), FDN, FDA, LDA, nitrógeno insoluble en detergente neutro (**NIDN**) y nitrógeno insoluble en detergente ácido (**ADIN**). El contenido de MS fue determinado por secado en estufa a 104 °C, mientras que el contenido de cenizas fue determinado por ignición de la muestra a 550 °C, obteniéndose el contenido de materia orgánica (**MO**) a través de la ecuación: % MO = 100 - % cenizas. El contenido de PC (nitrógeno x 6,25) fue determinado a través del procedimiento Kjeldahl, DIVMO de acuerdo al método propuesto por Tilley y Terry (1963), y EE utilizando un extractor Soxhlet durante 6 horas con éter de petróleo como solvente. En el caso de la SGE, el procedimiento de Tilley y Terry (1963) no se consideró apropiado para determinar la DIVMO, por lo que para este alimento se estimó como la sumatoria de las distintas fracciones orgánicas, cada una multiplicada por su digestibilidad, que fueron obtenidas del NRC (2001). El contenido de FDN y FDA fue determinado de acuerdo con Van Soest et al. (1991), utilizando una enzima α -amilasa estable al calor en el caso del análisis de FDN, presentándose los resultados sin corregir por contenido de nitrógeno. El contenido de LDA se determinó por solubilización de la celulosa en el residuo de FDA con ácido sulfúrico (72% v/v) (Van Soest et al., 1991). Los resultados de FDN, FDA y LDA se presentan libres de cenizas. El contenido de NDIN y ADIN fueron determinados de acuerdo a la metodología propuesta por Licitra et al. (1996). Para cada tratamiento se formó una muestra compuesta de heces, que fue analizada para determinar el contenido de cenizas de la forma previamente descrita. El contenido de ENL de cada alimento fue calculado de acuerdo a la propuesta del NRC (2001), mientras que el contenido de carbohidratos no fibrosos (**CNF**) se estimó según el método planteado por Sniffen et al. (1992).

DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD LUTEAL Y BIOQUÍMICA DE SANGRE

Desde el día 8 PP, ambos ovarios de cada vaca fueron examinados por ultrasonografía tres veces por semana con un transductor lineal de 5 MHz (Aloka SSD 500, Aloka, Tokio, Japón) para determinar: a) destino del folículo dominante de la primera onda folicular PP (ovulación o atresia), b) máximo diámetro de folículo dominante (**DFD**), c) diámetro del folículo secundario (**DFS**) cuando se alcanzó el máximo DFD, d) intervalo

parto a primera ovulación (**IPOV**) y e) por análisis *ex post*, el día PP en que se alcanzó el máximo DFD. En caso de regresión del folículo dominante, el examen por ultrasonografía continuó una vez por semana hasta el momento de la ovulación. La ovulación fue determinada por la desaparición del folículo de mayor tamaño seguido de detección de tejido luteal, y para confirmarla se tomó una muestra de sangre (una semana luego de la detección de un cuerpo lúteo) por punción de la vena yugular de los animales en tubos con heparina. Estas muestras fueron centrifugadas inmediatamente (3000 x g por 15 minutos), el plasma se separó y conservó a -20 °C hasta cuantificar la concentración de progesterona por radioinmunoanálisis en fase sólida (**RIA**) usando un kit comercial (Coat-a-count, Diagnostics Products Co., Los Angeles, CA, EEUU). El coeficiente de variación intra- e inter-ensayo fue 6 y 11%, respectivamente, y la sensibilidad fue 0,3 nM. Se asumió que una vaca había ovulado luego de obtener una muestra > 3,2 nM.

Entre los días 7 y 35 PP, se obtuvieron muestras de sangre con una frecuencia semanal, antes del ordeño PM (aproximadamente 8 horas luego del consumo de concentrado en el ordeño AM) y usando el mismo procedimiento descrito (en el caso de las muestras para análisis de glucosa solamente se usó oxalato de potasio en los tubos). En todas estas muestras se determinó la concentración plasmática de los siguientes metabolitos usando kits comerciales: AGNE (método acil-CoA sintetasa y acil-CoA oxidasa; Wako Chemicals, Richmond, VA, EEUU), β OHB (método 3-HBDH-NAD⁺+3-hidroxi-butarato deshidrogenasa-NAD⁺; Randox Laboratories, Ardmore, Reino Unido), colesterol (método CHOD-PAP; Spinreact, Sant Esteve de Bas, España), glucosa (método GOD-POD; Wiener Lab, Rosario, Argentina), nitrógeno ureico plasmático (**NUP**) (método ureasa UV; Wiener Lab, Rosario, Argentina), proteínas (método de reacción de Biuret; Wiener Lab, Rosario, Argentina) y albúminas (método de verde de Bromocresol; Wiener Lab, Rosario, Argentina). Las globulinas se estimaron por diferencia entre las proteínas y albúminas. También se obtuvieron muestras semanales de plasma desde el día -28 antes de la fecha esperada de parto hasta el parto inclusive, de la forma antes descrita, en las que se determinaron los mismos metabolitos mencionados anteriormente, para caracterizar el período pre-experimental. El coeficiente de variación intra- e inter-ensayo para todas estas variables fue \leq 3,7 y 9,6%, respectivamente. Luego de la determinación *ex-post* del día PP donde el folículo dominante de la primera onda folicular PP alcanzó su mayor diámetro, la

muestra de plasma correspondiente a ese día fue analizada para determinar la concentración de IGF-I por un RIA previamente validado (Spicer et al., 1988). El coeficiente de variación intra- e inter-ensayo fue $\leq 12,9$ y $13,3\%$, respectivamente, y la sensibilidad fue 1 pg/ml .

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño del experimento fue completamente al azar con estratificación previa según la paridad (vacas primíparas o multíparas) y el análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA; versión 9.1.3).

Para todas las variables se detectó la presencia de valores aberrantes y se evaluó la normalidad de residuales mediante análisis univariado (procedimiento UNIVARIATE). Las variables con más de una medición durante el período experimental (consumo, producción y composición de leche, CC y concentración plasmática de metabolitos) fueron analizadas como medidas repetidas en el tiempo, con un modelo lineal mixto (procedimiento MIXED), que incluyó los efectos fijos del tratamiento (G0, G0.7, G1.4), paridad (primíparas, multíparas), semana de lactancia (2 a 4 para consumo, 1 a 8 para producción y composición de leche, 1 a 7 para CC y 1 a 5 para metabolitos en plasma), las interacciones dobles y la triple interacción, y el efecto aleatorio de vaca dentro de nivel de suplementación x paridad. La estructura de covarianza utilizada fue AR(1)+RE (Littell et al., 1998). La concentración de cada metabolito durante la semana 4 antes de la fecha esperada de parto fue incluida como covariable en el modelo del metabolito correspondiente. La CC durante la semana 4 antes de la fecha prevista de parto fue incluida como covariable en el modelo de análisis de CC. Las mediciones usadas como covariable, y las medidas realizadas al parto, fueron analizadas por separado con un modelo lineal general (procedimiento GLM), que incluyó los efectos del tratamiento, paridad y su interacción. Aún cuando estos valores no estuvieron bajo los efectos de los tratamientos, este análisis se realizó para determinar si existían o no diferencias entre las vacas que serían asignadas a distintos tratamientos y que pudieran haber tenido algún efecto sobre los resultados obtenidos en el posparto. El resto de las mediciones de CC y de concentración plasmática de metabolitos determinados en el preparto (semanas 3 a 1 antes del parto) no fueron sometidas a análisis estadístico. Los

datos obtenidos en el preparto y al parto, cuando se incluyen en gráficas, se presentan como medias aritméticas \pm EEM.

Las variables con una única medición durante el período experimental (producción acumulada de leche y componentes sólidos, IPOV, máximo DFD de la primera onda folicular PP y día en que se alcanzó dicho diámetro, concentración plasmática de IGF-I en dicho momento y DFS) fueron analizadas con un modelo lineal general (procedimiento GLM), que incluyó los efectos del tratamiento, paridad y su interacción.

Los resultados de todas las variables mencionadas hasta el momento se presentan como medias de mínimos cuadrados \pm el error estándar de la media (**EEM**), que fueron comparadas con el test de mínima diferencia significativa (**MDS**). La significancia fue declarada con una probabilidad $< 0,05$.

La variable discreta ET se analizó con un modelo lineal generalizado (procedimiento GENMOD, distribución binomial) que incluyó los siguientes efectos: tratamiento, paridad, semana de lactancia y las interacciones entre estos factores. Los resultados se presentan como la probabilidad de ocurrencia de una muestra con alta ET, y el intervalo de confianza (95%) de dicha probabilidad. La proporción de vacas que ovularon durante la primera onda folicular PP fue analizada con un modelo lineal generalizado (procedimiento GENMOD, distribución binomial), y el modelo incluyó los efectos de tratamiento, paridad y sus interacciones. Los resultados se presentan como la probabilidad de que una vaca ovulara durante la primera onda folicular PP, y el intervalo de confianza (95%) de dicha probabilidad.

RESULTADOS

Una vaca múltipara correspondiente al tratamiento G1.4 se excluyó del análisis debido a que murió luego del parto, mientras que otra vaca múltipara del tratamiento G1.4 se excluyó del análisis de las variables reproductivas debido a que tuvo problemas al parto.

A excepción de la variable CMS de ensilaje, no se detectó una interacción significativa entre tratamiento, paridad y semana de lactancia para el resto de las variables reportadas en este capítulo ($p > 0,10$), por lo que solo se hará referencia a los efectos por separado o a las interacciones dobles entre ellos, cuando resultaron significativas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS Y CONSUMO

Mientras que la concentración energética de los concentrados totales (concentrado comercial + SGE) fue similar entre los distintos tratamientos ($G0 = 1,86$, $G0.7 = 1,90$ y $G1.4 = 1,89$ Mcal ENL/kg MS), la concentración de PC fue mayor en el concentrado total del tratamiento G0 respecto a los restantes ($G0 = 18,2$, $G0.7 = 17,1$ y $G1.4 = 17,2\%$), debido a que el contenido de PC de la SGE utilizada fue menor al valor promedio citado por NRC (2001) (13,1 vs. 19,2%), mientras que el concentrado comercial del tratamiento G0.7 tuvo un contenido de PC menor que el formulado (cuadro 1).

Si bien se detectó un efecto significativo de los tratamientos sobre el consumo de concentrado total, la mayor diferencia fue de 100 g/día ($G0 = 6,2$, $G0.7 = 6,2$, $G1.4 = 6,3$ kg MS/día; cuadro 2). Por otra parte, la SGE fue consumida en su totalidad por los animales del experimento ($G0.7 = 0,6$ y $G1.4 = 1,3$ kg MS/día), y su proporción en la dieta final de las vacas fue 3,4 y 6,7% para los tratamientos G0.7 y G1.4, respectivamente, menor que el valor utilizado al formular las dietas (4 y 8% para G0.7 y G1.4, respectivamente).

La suplementación con SGE no tuvo efectos sobre el CMS de ensilaje de trigo ($G0 = 3,9$, $G0.7 = 3,8$, $G1.4 = 3,7$ kg MS/día; $p > 0,10$), pero se detectó una interacción significativa entre este efecto, paridad y semana de lactancia ($p < 0,05$; cuadro 2): mientras que en las vacas múltiparas el CMS de ensilaje fue prácticamente equivalente a la cantidad ofrecida durante todo el período de medición (independientemente del nivel de suplementación), en las primíparas aumentó hasta la semana 3 PP para luego estabilizarse,

en el caso de los tratamientos G0 y G0.7, o disminuir hasta un valor similar al de la semana 2 PP, en el caso del tratamiento G1.4 (figura 1). El CMS de pastura (G0 = 9,3, G0.7 = 8,8, G1.4 = 9,5 kg MS/día) o total (G0 = 19,3, G0.7 = 18,9, G1.4 = 19,5 kg MS/día) no fueron afectados por los tratamientos ($p > 0,10$; cuadro 3.2). Por otra parte, el primero no fue afectado por la semana de lactancia pero sí el segundo ($p < 0,04$), aumentando entre la semana 2 (18,3 kg MS/día) y 4 PP (19,8 kg MS/día) (figura 1).

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados y prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: consumo y composición química de las dietas consumidas (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$, y las tendencias, $p < 0,10$).

| | G0 | | G0.7 | | G1.4 | | EEM | Prueba de F ⁴ | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|--------------------------|----------------|----------------|-----|-------|
| | L1 ² | L2 ³ | L1 | L2 | L1 | L2 | | G ⁴ | P ⁵ | S ⁶ | GxP | PxS |
| Girasol en la dieta, % de MS | 0 ^e | 0 ^e | 3,6 ^c | 3,2 ^d | 7,1 ^a | 6,2 ^b | 0,1 | *** | *** | | ** | |
| Consumo ¹ | | | | | | | | | | | | |
| Ensilaje | 3,6 | 4,1 | 3,6 | 4,0 | 3,5 | 3,9 | 0,1 | | *** | *** | | * |
| Concentrado | 6,2 | 6,3 | 6,1 | 6,3 | 6,3 | 6,3 | 0,03 | * | * | | | |
| Pastura | 8,4 | 10,2 | 7,7 | 9,8 | 8,6 | 10,4 | 0,7 | | ** | | | |
| Total | 18,1 | 20,5 | 17,6 | 20,1 | 18,2 | 20,7 | 0,7 | | *** | * | | |
| ENL, Mcal/día | 28,4 | 31,7 | 28,0 | 31,4 | 28,8 | 32,2 | 1,0 | | *** | 0,055 | | |
| PC, kg/día | 3,0 | 3,4 | 2,8 | 3,2 | 2,9 | 3,3 | 0,1 | | *** | | | |
| EE, kg/día | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 0,02 | *** | *** | | | |
| FDN, kg/día | 7,0 | 8,4 | 7,0 | 8,4 | 7,8 | 9,2 | 0,3 | * | *** | * | | |
| FDA, kg/día | 5,3 | 6,4 | 5,5 | 6,6 | 6,1 | 7,1 | 0,2 | * | *** | ** | | |
| CNF, kg/día | 5,9 | 6,2 | 5,6 | 5,9 | 4,9 | 5,1 | 0,2 | *** | 0,071 | * | | |
| Composición de dieta consumida | | | | | | | | | | | | |
| ENL, Mcal/kg MS | 1,57 | 1,55 | 1,59 | 1,56 | 1,58 | 1,56 | 0,01 | * | *** | *** | | |
| PC, % de MS | 16,2 | 16,4 | 15,8 | 15,8 | 15,9 | 16,2 | 0,2 | * | | ** | | 0,090 |
| EE, % de MS | 3,0 | 3,1 | 4,4 | 4,2 | 5,7 | 5,4 | 0,1 | *** | | 0,052 | | |
| FDN, % de MS | 38,9 | 41,0 | 39,5 | 41,5 | 42,9 | 44,3 | 0,4 | *** | *** | ** | | 0,076 |
| FDA, % de MS | 29,1 | 30,9 | 30,8 | 32,5 | 33,1 | 34,2 | 0,3 | *** | ** | *** | | |
| CNF, % de MS | 32,9 | 30,2 | 31,7 | 29,4 | 26,7 | 24,8 | 0,3 | *** | *** | | | |

^{a,b,c,d,e} Letras distintas en la fila indican diferencias significativas entre medias, $p < 0,01$

***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$. El efecto GxS no fue significativo para ninguna variable

¹Datos expresados como kg MS/día

²Vacas primíparas

³Vacas múltiparas

⁴Tratamiento

⁵Paridad

⁶Semana de lactancia

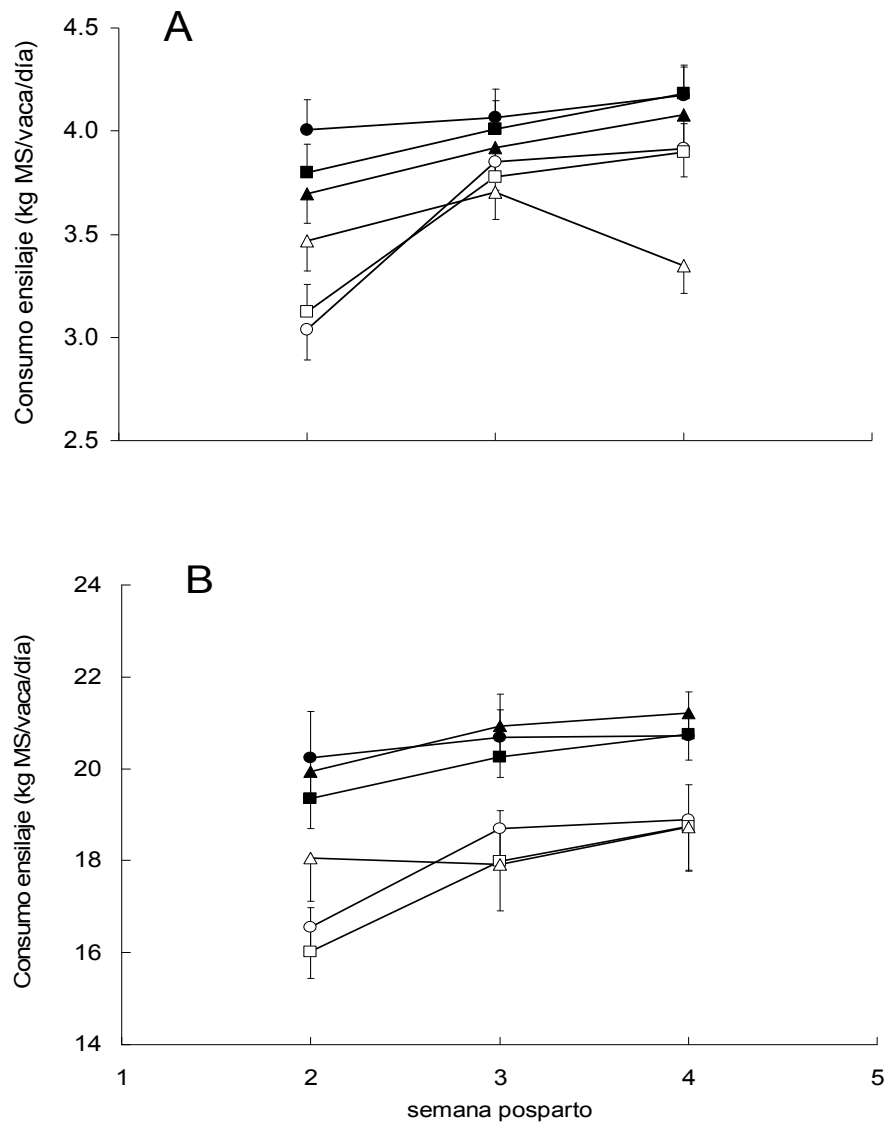


Figura 1. Evolución del consumo de materia seca de ensilaje de trigo (A) y total (B) durante las primeras semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, multíparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados y prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: producción y composición de leche (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$)

| | G0 | | G0.7 | | G1.4 | | EEM | Prueba de F ⁴ | | | | |
|--|-----------------|-----------------|------|------|------|------|------|--------------------------|------------------|----------------|-----|-----|
| | L1 ² | L2 ³ | L1 | L2 | L1 | L2 | | G ⁴ | P ⁵ | S ⁶ | GxS | PxS |
| Leche, kg/día | 20,9 | 26,1 | 21,5 | 26,8 | 22,3 | 26,6 | 0,8 | *** | *** | | | |
| LCG, kg/día | 20,2 | 26,0 | 21,5 | 26,8 | 21,5 | 26,3 | 0,9 | *** | *** | | | * |
| Grasa, % | 3,79 | 3,99 | 3,98 | 4,01 | 3,77 | 3,93 | 0,14 | | *** | ** | | |
| Proteína, % | 3,02 | 3,05 | 3,04 | 3,01 | 3,00 | 2,95 | 0,06 | | *** | | | |
| Lactosa, % | 4,92 | 4,82 | 4,97 | 4,90 | 4,89 | 4,81 | 0,04 | * | * | | | |
| CAS, % | 2,11 | 2,09 | 2,10 | 2,10 | 2,09 | 2,05 | 0,05 | *** | *** | | | |
| Grasa, kg/día | 0,79 | 1,04 | 0,86 | 1,07 | 0,84 | 1,05 | 0,04 | *** | *** | * | | ** |
| Proteína, kg/día | 0,66 | 0,78 | 0,66 | 0,77 | 0,68 | 0,77 | 0,02 | *** | *** | | | * |
| Lactosa, kg/día | 1,03 | 1,26 | 1,07 | 1,31 | 1,08 | 1,28 | 0,04 | *** | *** | | | |
| CAS, kg/día | 0,46 | 0,53 | 0,46 | 0,54 | 0,47 | 0,53 | 0,02 | *** | *** | | | * |
| NUL, mg/dl | 21,9 | 24,7 | 20,9 | 24,9 | 24,5 | 28,2 | 0,7 | *** | *** | *** | | |
| Producción acumulada ¹ , kg | | | | | | | | | | | | |
| Leche | 1170 | 1462 | 1203 | 1504 | 1248 | 1490 | 45 | *** | N/I ⁷ | N/I | | N/I |
| LCG | 1133 | 1457 | 1203 | 1516 | 1208 | 1475 | 52 | *** | N/I | N/I | | N/I |
| Grasa | 44,3 | 58,2 | 48,1 | 60,6 | 47,1 | 58,6 | 2,4 | *** | N/I | N/I | | N/I |
| Proteína | 36,8 | 43,5 | 36,9 | 43,3 | 38,1 | 43,0 | 1,3 | *** | N/I | N/I | | N/I |
| Lactosa | 57,5 | 70,4 | 59,8 | 73,6 | 60,6 | 71,6 | 2,2 | *** | N/I | N/I | | N/I |

***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$. El efecto GxP y GxPxS no fueron significativos para ninguna variable

¹Producción acumulada durante todo el experimento (primeros 60 días de lactancia)

²Vacas primíparas

³Vacas múltiparas

⁴Tratamiento

⁵Paridad

⁶Semana de lactancia

⁷N/I: efecto no incluido en el modelo

No hubo efecto significativo de los tratamientos sobre el consumo de ENL ($G0 = 30,1$, $G0.7 = 29,7$, $G1.4 = 30,5$ Mcal/día) o PC ($G0 = 3,2$, $G0.7 = 3,0$, $G1.4 = 3,1$ kg/día) ($p > 0,10$ en ambos casos), mientras que el de EE fue mayor en el tratamiento G1.4 respecto a G0.7, y éste respecto a G0 ($G0 = 0,6$, $G0.7 = 0,8$, $G1.4 = 1,1$ kg/día; $p < 0,001$). Asimismo, el aumento en el nivel de suplementación incrementó el consumo de FDN ($G0 = 7,7$, $G0.7 = 7,7$, $G1.4 = 8,5$ kg/día) y FDA ($G0 = 5,8$, $G0.7 = 6,0$, $G1.4 = 6,6$ kg/día) y redujo el de CNF ($G0 = 6,0$, $G0.7 = 5,7$, $G1.4 = 5,0$ kg/día) ($p < 0,05$ en todos los casos; cuadro 2). Durante el período de medición, el consumo de PC y EE se mantuvo estable, el de ENL

tendió ($p = 0,055$) a aumentar, y el de FDN, FDA y CNF se incrementó ($p < 0,02$ en todos los casos) hasta la semana 4 PP.

El CMS de los distintos componentes de la dieta fueron afectados por la paridad, siendo menor el CMS de ensilaje (3,6 vs. 4,0 kg MS/día), pastura (8,3 vs. 10,1 kg MS/día), total (18,0 vs. 20,4 kg MS/día), ENL (28,4 vs. 31,8 Mcal/día), PC (2,9 vs. 3,3 kg/día), EE (0,8 vs. 0,9 kg/día), FDN (7,3 vs. 8,7 kg/día) y FDA (5,6 vs. 6,7 kg/día) en el caso de las vacas primíparas respecto a las múltíparas ($p < 0,01$ en todos los casos; cuadro 2). El consumo de CNF también tendió ($p = 0,071$) a ser menor en las vacas primíparas respecto a las múltíparas (5,4 vs. 5,7 kg/día). En el caso del CMS de SGE y concentrado total, si bien se detectó un efecto significativo de la paridad, las diferencias fueron cuantitativamente muy pequeñas. Como resultado del menor CMS total de las vacas primíparas pero un CMS de SGE similar, la proporción de la oleaginosa en la dieta consumida por las vacas primíparas fue mayor respecto a la de las múltíparas, tanto en el tratamiento G0.7 (3,6 vs. 3,2%) como G1.4 (7,1 vs. 6,2%) ($p < 0,001$; cuadro 2).

Si bien se detectó un efecto significativo ($p < 0,05$) o tendencia ($p < 0,06$) de la suplementación con SGE, paridad y semana de lactancia sobre el contenido de ENL, PC, FDN, FDA y CNF (cuadro 2), en general se trata de diferencias cuantitativamente reducidas. El contenido en la dieta de FDN y FDA aumentó ($p < 0,001$) y el de CNF disminuyó ($p < 0,001$) a mayor nivel de SGE, mientras que el contenido de EE resultó mayor en la dieta consumida de las vacas del tratamiento G1.4 respecto a G0.7, y éste respecto a G0 (5,6 vs. 4,3 vs. 3,1%, respectivamente; $p < 0,001$). No se detectaron diferencias atribuibles a la paridad para esta variable (primíparas = 4,4, múltíparas = 4,2%; $p > 0,10$).

PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE

La producción diaria de leche se incrementó una vez comenzado el experimento hasta alcanzar un máximo entre la semana 3 y 4 PP para todos los tratamientos (figura 2), pero no hubo efecto del consumo de SGE sobre ésta (G0 = 23,5, G0.7 = 24,2, G1.4 = 24,5 kg/día) o sobre la producción (G0 = 0,92, G0.7 = 0,97, G1.4 = 0,94 kg/día) y concentración (G0 = 3,89, G0.7 = 4,00, G1.4 = 3,85%) de grasa láctea, o la producción de LCG (G0 = 23,1, G0.7 = 24,2, G1.4 = 23,9 kg/día) ($p > 0,10$ en todos los casos; cuadro 3).

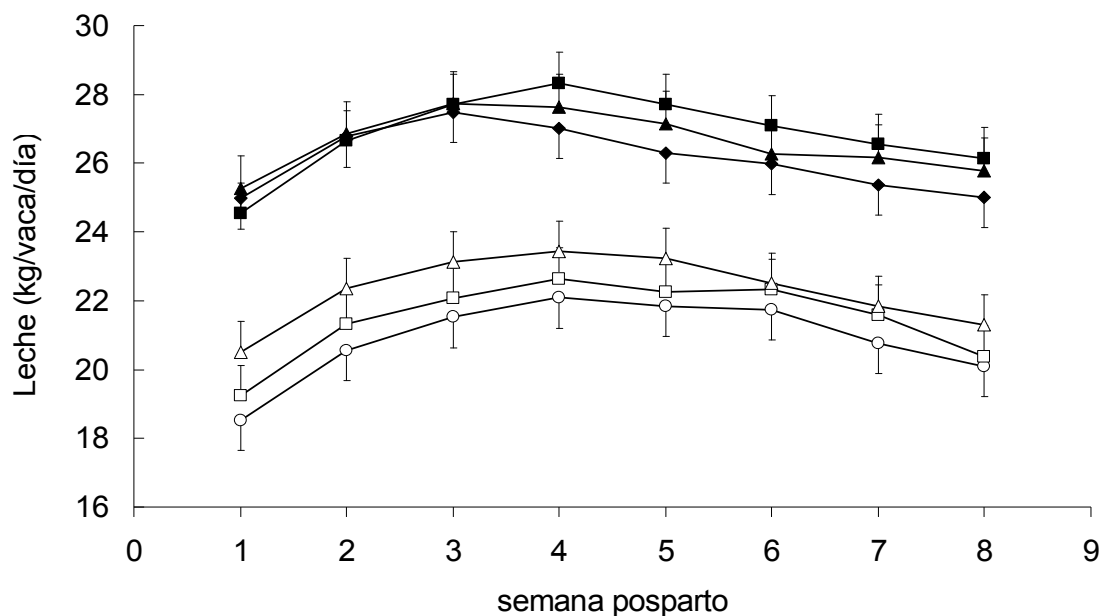


Figura 2. Evolución de la producción de leche durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, múltiparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM.

Sin embargo, se detectó una interacción significativa entre tratamiento y semana de lactancia para las variables producción y concentración de grasa ($p < 0,04$ en ambos casos; cuadro 3 y figura 3). La máxima producción de grasa ocurrió en la semana 3, 4 y 2 para G0, G0.7 y G1.4, tanto en vacas primíparas como múltiparas (en el caso de las vacas primíparas en el nivel G0.7 ocurrió a la semana 5 PP). Aunque al inicio del experimento el contenido de grasa láctea de las vacas del nivel G1.4 (4,23%) no fue estadísticamente distinto ($p > 0,10$) de G0 (3,99%) y G0.7 (4,19%), disminuyó a lo largo del mismo, alcanzando un valor de 3,52% a la semana 8 PP, siendo menor en dicho momento ($p < 0,05$) respecto a G0 y G0.7 (3,90% y 3,81%, respectivamente).

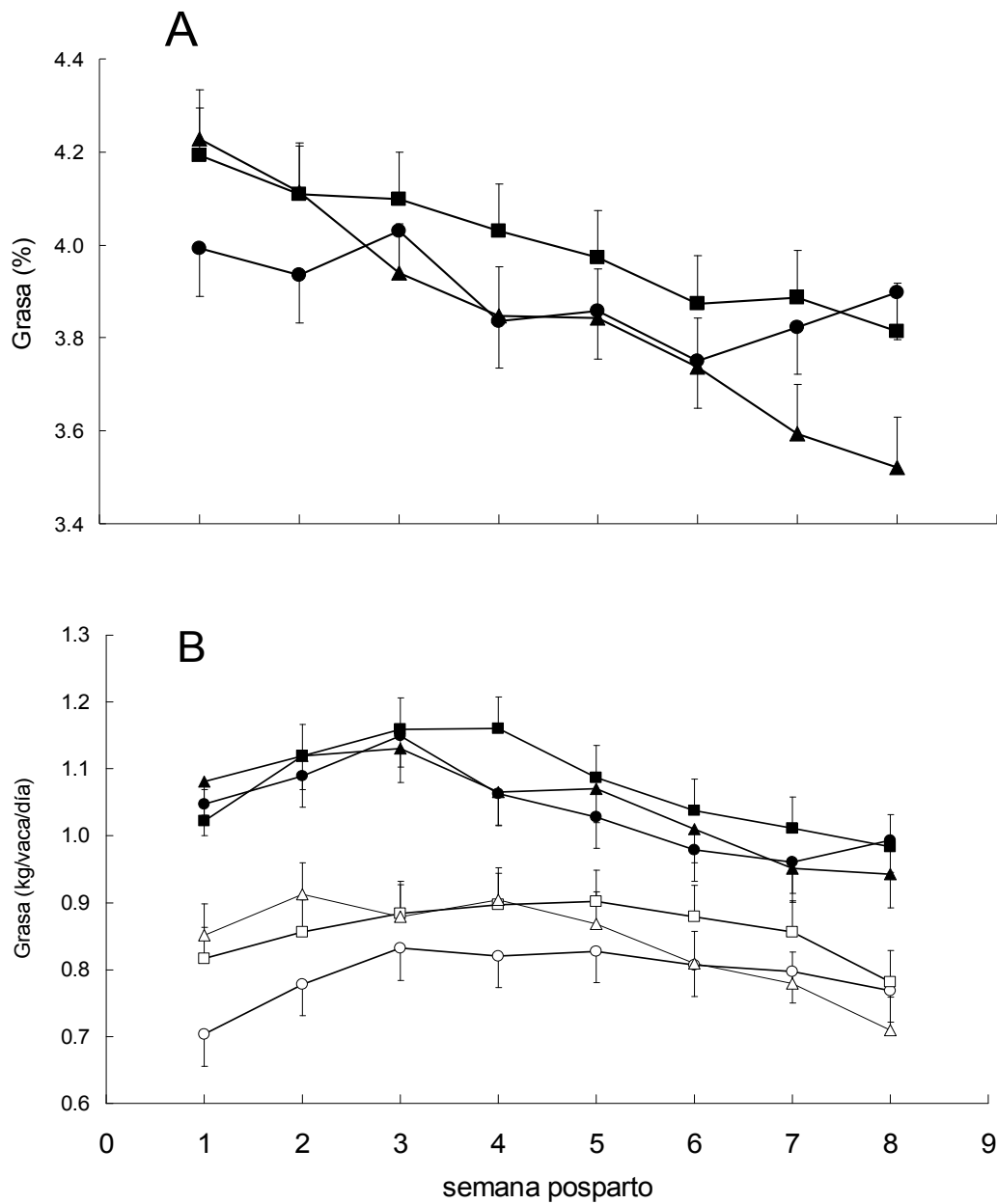


Figura 3. (A): Evolución del porcentaje de grasa láctea durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). B): Evolución de la producción de grasa láctea durante las primeras ocho semanas posparto según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲) y paridad (primíparas = figuras sin relleno, múltiparas = figuras con relleno). Las barras verticales indican los EEM.

Tanto el porcentaje de proteína como de CAS disminuyeron desde el comienzo de la lactancia (a partir de un valor de 3,42% y 2,42%, respectivamente), estabilizándose a partir de la semana 5 PP para todos los tratamientos (en valores de 2,91-2,95%, y 1,98-2,00%, respectivamente) (cuadro 3). No hubo efecto de los tratamientos sobre la producción o concentración de proteína (G0 = 3,03% y 0,72 kg/día, G0.7 = 3,02% y 0,72 kg/día, G1.4 = 2,98% y 0,72 kg/día), CAS (G0 = 2,10% y 0,50 kg/día, G0.7 = 2,10% y 0,50 kg/día, G1.4 = 2,07% y 0,50 kg/día) o lactosa (G0 = 4,87% y 1,14 kg/día, G0.7 = 4,94% y 1,19 kg/día, G1.4 = 4,85% y 1,18 kg/día) ($p > 0,10$ en todos los casos; cuadro 3). La concentración de NUL fue mayor ($p < 0,01$; cuadro 3) en el tratamiento G1.4 (26,3 mg/dl), no difiriendo entre G0 y G0.7 (23,3 y 22,9 mg/dl, respectivamente), manteniéndose esta diferencia durante todo el experimento.

La producción de leche de las vacas primíparas fue menor respecto a las múltiparas (21,6 vs. 26,5 kg/día; $p < 0,01$), lo que determinó un menor rendimiento de grasa (0,83 vs. 1,05 kg/día), proteína (0,66 vs. 0,78 kg/día), CAS (0,45 vs. 0,55 kg/día), lactosa (1,06 vs. 1,28 kg/día) y LCG (21,1 vs. 26,4 kg/día) de las primeras ($p < 0,01$ en todos los casos; cuadro 3). El pico de producción de LCG ocurrió en la semana 3 y 4 PP en el caso de las vacas múltiparas y primíparas, respectivamente. No hubo diferencias ($p > 0,10$) entre vacas primíparas y múltiparas en el porcentaje de los distintos componentes a excepción de lactosa, que fue mayor en las primíparas (4,93 vs. 4,84%; $p < 0,02$; cuadro 3). Las producciones de leche, LCG, grasa, proteína y lactosa acumuladas durante los primeros 60 días de lactancia de cada vaca fueron mayores ($p < 0,001$) en las vacas múltiparas que en primíparas, pero no fueron afectadas por los tratamientos ($p > 0,10$) (cuadro 3).

Se detectó una interacción significativa entre la paridad y la semana de lactancia para las variables producción de grasa, proteína, CAS y LCG ($p < 0,03$ en todos los casos; cuadro 3). Mientras que la producción de proteína y CAS fue máxima a la semana 1 PP en el caso de las vacas múltiparas, en las primíparas permaneció estable hasta la semana 4 PP para descender durante el resto del experimento. Con respecto a la producción de grasa y LCG, en el caso de las vacas múltiparas hubo para ambas variables un pico claro a la semana 3 PP, para luego disminuir, mientras que en las primíparas dichos picos ocurrieron en la semana 4 PP y no fueron tan evidentes como en las múltiparas.

Por otra parte, los tratamientos que incluyeron SGE tuvieron una mayor proporción de muestras con alta ET respecto a G0 ($p < 0,03$), pero no hubo diferencias entre aquellos ($p > 0,10$) ($G0 = 0,30$, $G0.7 = 0,54$, $G1.4 = 0,56$) (figura 4). No se detectó efecto de la paridad (primíparas = 0,43 y multíparas = 0,49; $p > 0,10$) sobre la ET, pero la misma se incrementó durante el experimento ($p < 0,005$). Tampoco se detectó interacción tratamiento x paridad ($p > 0,10$) sobre la proporción de muestras con alta ET.

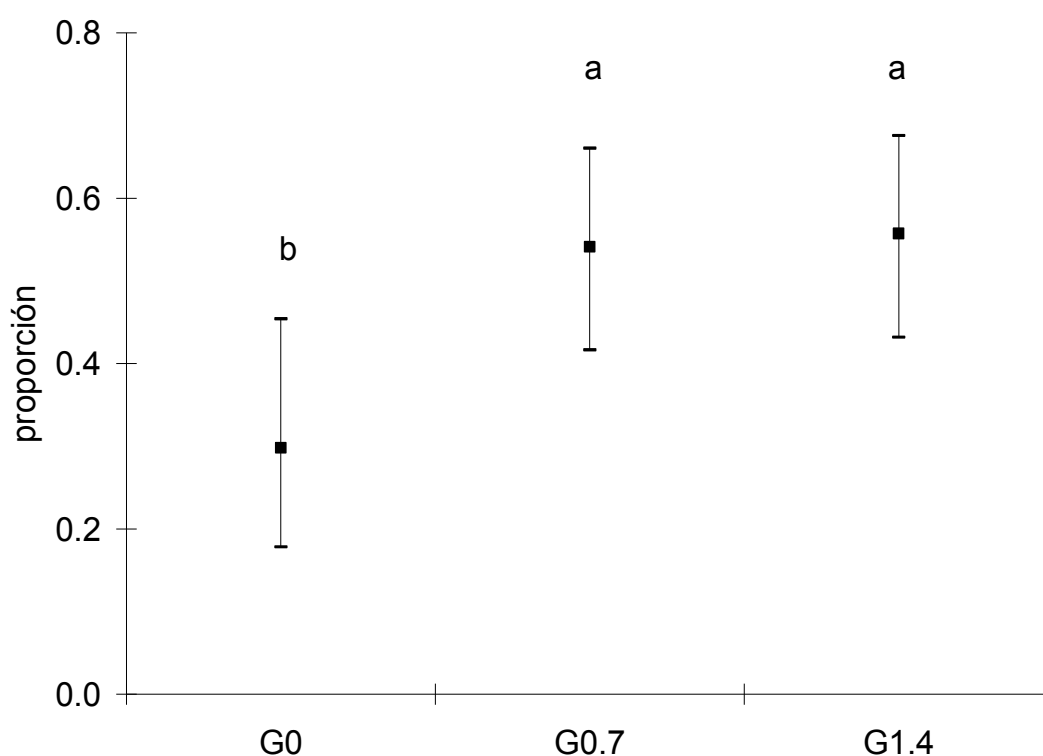


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados (■) e intervalo de 95% de confianza para la variable proporción de muestras de leche con alta estabilidad térmica para los 60 días del experimento, según tratamiento (letras distintas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$)).

CONDICIÓN CORPORAL, PERFILES METABÓLICOS E IGF-I

Los valores de CC y concentración plasmática de metabolitos medidos durante la semana 4 antes de la fecha prevista de parto y que fueron usados como covariable no fueron

afectados por el tratamiento al que serían asignadas, la paridad, o su interacción ($p > 0,10$; medias no mostradas), a excepción de las albúminas plasmáticas, donde se detectó una interacción entre tratamiento y paridad ($p < 0,05$). La concentración de albúminas fue mayor ($p < 0,01$) en las vacas primíparas respecto a las multíparas en aquellos animales que serían asignados a los tratamientos G0 y G1.4, pero no hubo diferencias entre aquellos que serían asignados al tratamiento G0.7 ($p < 0,10$) (medias no mostradas).

Al parto, se detectó un efecto de paridad ($p < 0,05$) sobre la concentración plasmática de AGNE, colesterol y PUN, que fue mayor en las vacas multíparas respecto a las primíparas (0,96 vs 0,69; 1,79 vs. 1,33; 7,37 vs. 6,38 mM, respectivamente), y sobre la concentración plasmática de glucosa y globulinas plasmáticas, que tendió ($p < 0,10$) a ser mayor en las vacas primíparas respecto a las multíparas (4,33 vs. 3,83 mM; 40,5 vs. 33,1 g/L, respectivamente). No se detectó efecto de tratamiento o de interacción entre tratamiento y paridad sobre los citados metabolitos, la CC o la concentración plasmática de β OHB, colesterol, y albúminas; para estas últimas variables tampoco se detectó un efecto de paridad ($p > 0,10$; medias no mostradas).

Si bien no se detectó efecto del tratamiento (G0 = 2,4, G0.7 = 2,3, G1.4 = 2,4 puntos) o la paridad (primíparas = 2,4, multíparas = 2,4 puntos) ($p > 0,10$) sobre la CC durante el período experimental, se detectó una interacción entre ambos efectos ($p < 0,05$; cuadro 4); la CC fue menor en las vacas primíparas respecto a las multíparas en el tratamiento G1.4 ($p < 0,05$), pero no hubo efecto de la paridad en los otros tratamientos ($p > 0,10$). La CC de todas las vacas disminuyó a medida que se aproximaba el parto, y luego del mismo fue afectada por la semana de lactancia ($p < 0,007$), alcanzando un nadir hacia la semana 3-4 PP, e incrementándose a partir de la semana 5 PP, aunque sin alcanzar los niveles del preparto (figura 5).

Cuadro 4. Prueba de F para los efectos fijos incluidos en los modelos utilizados para analizar las variables: CC, metabolitos plasmáticos, IGF-I y variables reproductivas (solo se indican los efectos significativos, $p < 0,05$, y las tendencias, $p < 0,10$)

| | G0 | | G0.7 | | G1.4 | | EEM | Prueba de F | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|----------------|----------------|------------------|-------|-------|-----|
| | L1 ¹ | L2 ² | L1 | L2 | L1 | L2 | | G ³ | P ⁴ | S ⁵ | GxP | GxS | PxS |
| CC, puntos | 2,35 ^{ab} | 2,39 ^{ab} | 2,38 ^{ab} | 2,28 ^b | 2,31 ^b | 2,44 ^a | 0,04 | | | ** | * | | |
| AGNE, mM | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,76 | 0,67 | 0,82 | 0,15 | * | * | *** | | | |
| βOHB, mM | 0,47 | 0,53 | 0,52 | 0,54 | 0,58 | 0,63 | 0,04 | 0,076 | | * | | | ** |
| Colesterol, mM | 2,91 | 3,51 | 3,33 | 3,47 | 3,63 | 3,76 | 0,27 | | | *** | | | * |
| Glucosa, mM | 3,37 | 3,04 | 3,42 | 2,80 | 3,20 | 2,91 | 0,08 | | *** | *** | 0,074 | | |
| NUP, mM | 5,32 | 6,98 | 5,29 | 6,79 | 6,14 | 7,35 | 0,27 | * | *** | | | | * |
| Albúminas, g/L | 33,1 | 33,7 | 34,5 | 32,8 | 34,6 | 33,0 | 0,6 | | | * | 0,062 | | |
| Globulinas, g/L | 40,7 | 36,7 | 42,8 | 35,9 | 41,1 | 36,4 | 1,4 | | *** | *** | | 0,086 | |
| IPOV, días | 43,9 ^a | 21,4 ^b | 19,4 ^b | 22,0 ^b | 21,1 ^b | 24,8 ^b | 3,8 | ** | 0,089 | N/I ⁶ | ** | N/I | N/I |
| DFD máx., mm | 14,0 | 15,1 | 15,4 | 15,5 | 14,9 | 16,2 | 1,2 | | | N/I | | N/I | N/I |
| Día máx DFD | 15,6 | 13,4 | 12,1 | 16,1 | 14,6 | 15,8 | 1,4 | | | N/I | | N/I | N/I |
| DFS, mm | 6,4 | 5,8 | 6,0 | 6,6 | 7,3 | 7,6 | 0,7 | | | N/I | | N/I | N/I |
| IGF-I, nmol/ml | 59,7 | 51,6 | 64,2 | 47,0 | 47,6 | 45,5 | 8,8 | | | N/I | | N/I | N/I |

^{a,b} Letras distintas en la fila indican diferencias significativas entre medias, $p < 0,01$

***= $p < 0,001$; **= $p < 0,01$; *= $p < 0,05$. El efecto GxPxS no fue significativo para ninguna variable

¹Vacas primíparas

²Vacas múltiparas

³Tratamiento

⁴Paridad

⁵Semana de medición

⁶N/I: efecto no incluido en el modelo

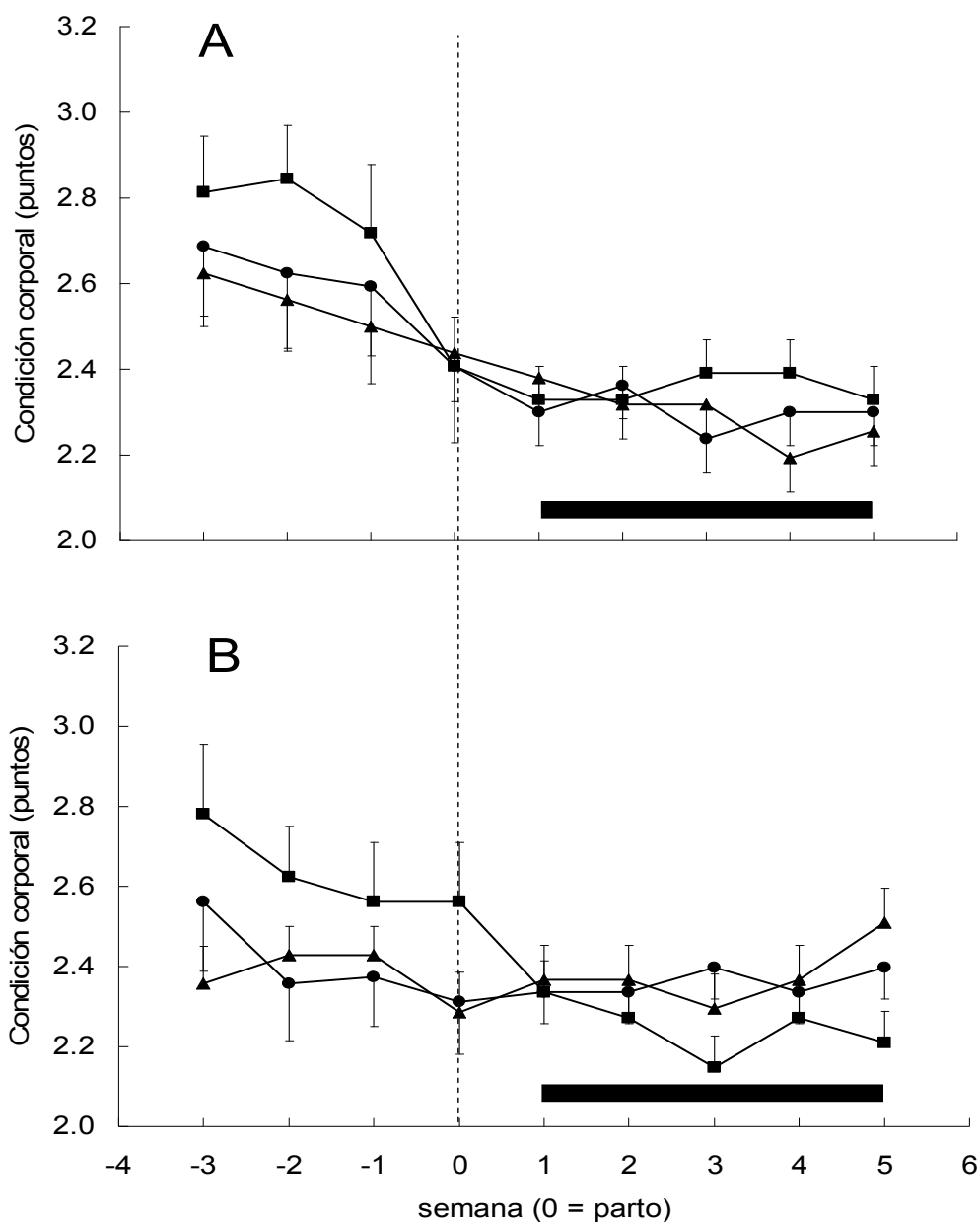


Figura 5. Evolución de la condición corporal durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), de vacas primíparas (A) y múltiparas (B) según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM.

La concentración plasmática de AGNE se incrementó para todas las vacas hacia el parto y la semana 1 PP, y fue afectada por la semana de lactancia ($p < 0,001$), disminuyendo desde la semana 1 o 2 PP hasta alcanzar valores similares a los del preparto hacia la semana

5 PP (figura 6). Durante el período experimental, la concentración de AGNE se incrementó a mayor nivel de suplementación con SGE (G0 = 0,60, G0.7 = 0,70, G1.4 = 0,75 mM), y fue menor en vacas primíparas respecto a las multíparas (0,63 vs. 0,73 mM) ($p < 0,05$; cuadro 4).

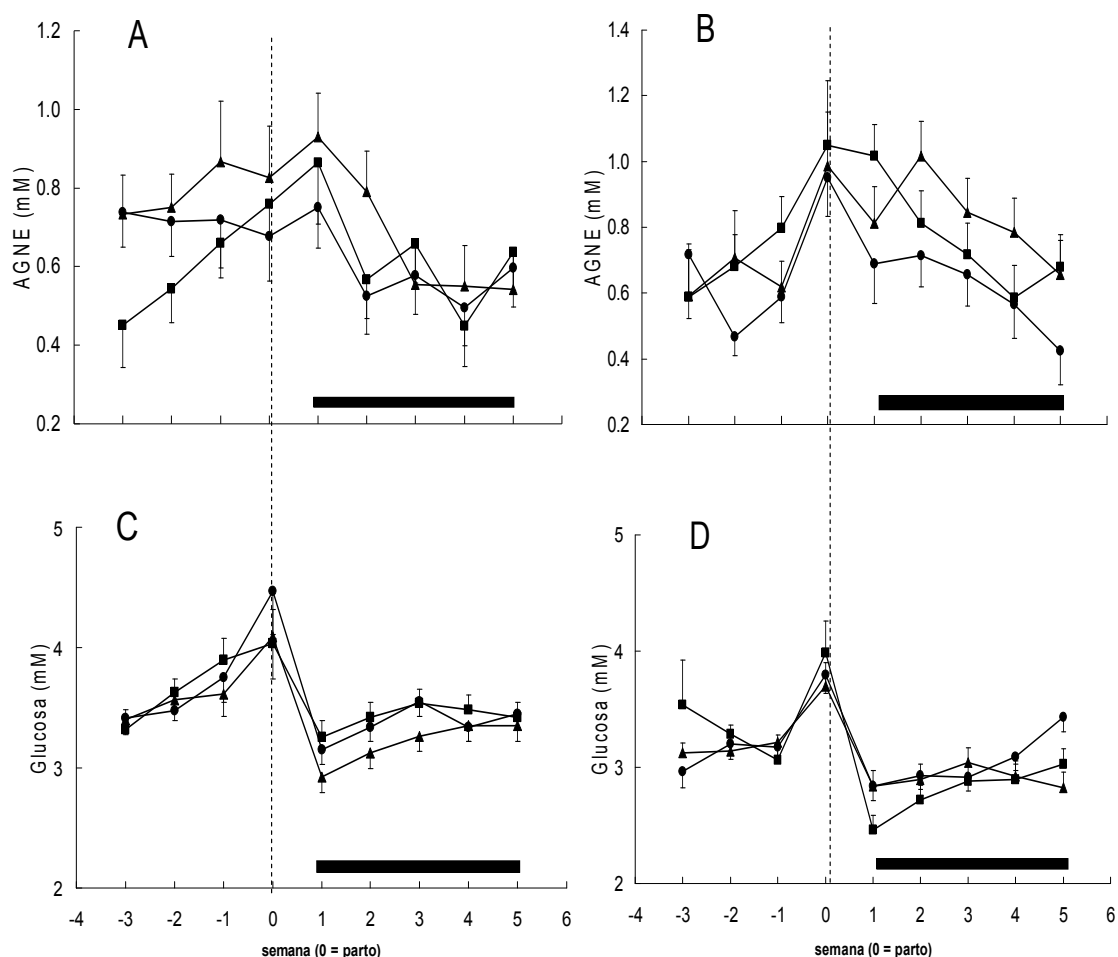


Figura 6. Evolución de la concentración plasmática de AGNE (paneles A y B) y glucosa (paneles C y D) durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), según paridad (primíparas = paneles A y C; multíparas = paneles B y D) y tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM.

La concentración de β OHB en plasma durante el parto fue estable y se incrementó en todos los animales luego del parto, manteniéndose elevados durante el resto del experimento en todos los tratamientos (figura 6). La suplementación con SGE tendió (p

= 0,076; cuadro 4) a incrementar la concentración de β OHB ($G_0 = 0,50$, $G_{0.7} = 0,53$, $G_{1.4} = 0,61$ mM). No se detectó un efecto de la paridad sobre la concentración de β OHB (primíparas = 0,52, multíparas = 0,57 mM), pero sí una interacción entre este efecto y la semana de lactancia ($p < 0,05$; cuadro 4); la concentración de β OHB en las vacas multíparas se mantuvo estable durante todo el período experimental, pero en las primíparas disminuyó hacia el final del experimento.

La concentración plasmática de colesterol disminuyó durante el preparto para todas las vacas hasta alcanzar un nadir hacia el momento del parto. Luego del parto fue afectada por la semana de lactancia ($p < 0,001$), incrementándose en todos los tratamientos a medida que progresaba la lactancia (figura 7), pero no hubo efecto del tratamiento ($G_0 = 3,21$, $G_{0.7} = 3,40$, $G_{1.4} = 3,69$ mM) o la paridad (primíparas = 3,29, multíparas = 3,58 mM) ($p > 0,10$; cuadro 4).

La concentración de glucosa en plasma se incrementó al parto en todas las vacas, y una vez iniciado el período experimental fue afectada por la semana de lactancia ($p < 0,001$), disminuyendo a medida que transcurría la misma, alcanzándose valores similares a los del preparto hacia la semana 8 PP (figura 6). No hubo efecto del tratamiento sobre la concentración de glucosa ($G_0 = 3,20$, $G_{0.7} = 3,11$, $G_{1.4} = 3,05$ mM; $p > 0,10$; cuadro 4), aunque fue mayor en las vacas primíparas respecto a las multíparas (3,33 vs. 2,92 mM; $p < 0,001$) (cuadro 4).

La concentración de NUP fue afectada por la suplementación con SGE ($p < 0,03$) y la paridad ($p < 0,05$), siendo mayor en el tratamiento $G_{1.4}$ respecto a los demás ($G_0 = 6,15$, $G_{0.7} = 6,04$, $G_{1.4} = 6,74$ mM), y menor en las vacas primíparas respecto a las multíparas (5,58 vs. 7,04 mM) (cuadro 4). Aunque la concentración de NUP disminuyó durante el preparto y se incrementó hacia el parto, una vez iniciado el experimento no fue afectada por la semana de lactancia ($p > 0,10$; cuadro 4). Sin embargo, se detectó una interacción significativa entre paridad y semana de lactancia para esta variable ($p < 0,05$; cuadro 4); la concentración de NUP en las vacas multíparas se mantuvo estable durante el experimento, pero en las primíparas disminuyó a partir del parto.

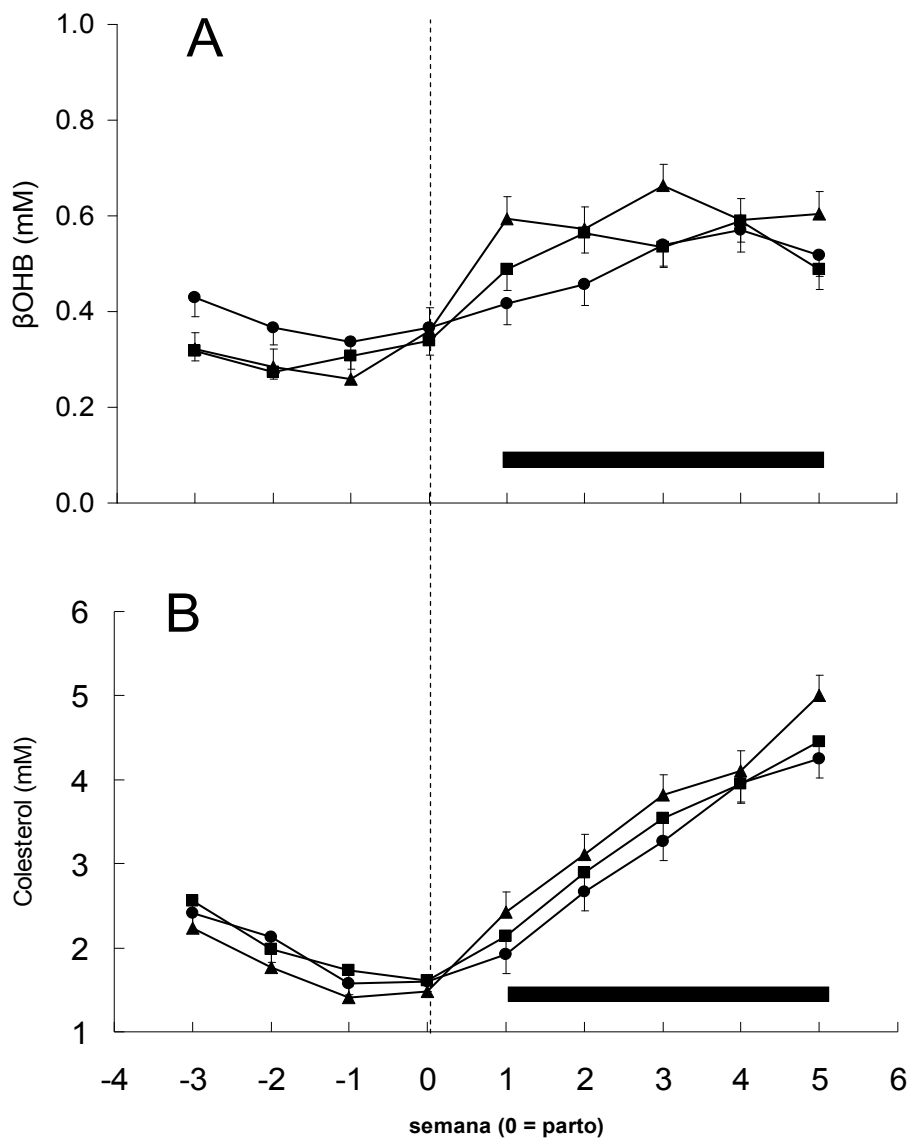


Figura 7. Evolución de la concentración plasmática de β OHB (A) y colesterol (B) durante el período pre-experimental y experimental (barra horizontal), según tratamiento (G0 = ●, G0.7 = ■, G1.4 = ▲). Las barras verticales indican los EEM.

La concentración de globulinas plasmáticas disminuyó durante el parto hasta alcanzar un nadir hacia el parto y la semana 1 PP, para luego incrementarse en todos los animales ($p < 0,001$). No hubo efecto del tratamiento ($p > 0,10$) pero sí de la paridad

(primíparas = 41,5, multíparas = 36,3 g/L) ($p < 0,001$; cuadro 4). Con respecto a la concentración de albúminas, la misma no fue afectada por la semana de lactancia, los tratamientos (G0 = 33,4, G0.7 = 33,7, G1.4 = 33,8 g/L), o la paridad (primíparas = 34,1, multíparas = 33,2 g/L) ($p > 0,10$; cuadro 4).

La concentración plasmática de IGF-I cuando el folículo dominante de la primera onda folicular PP alcanzó su mayor diámetro no fue afectada por los tratamientos (G0 = 55,7, G0.7 = 55,6, G1.4 = 46,7 ng/ml) ni por la paridad (primíparas = 57,2, multíparas = 48,1 ng/ml) ($p > 0,10$; cuadro 4).

REINICIO DE LA ACTIVIDAD LUTEAL POSPARTO

Solamente en tres animales no se detectó ovulación mediante ultrasonografía durante el experimento, y todos ellos eran vacas primíparas del tratamiento G0. Para aquellas vacas en las que se detectó ovulación mediante ultrasonografía ($n = 43$), en 41 ocasiones la misma fue confirmada por concentraciones de progesterona plasmática superiores a 3,2 nM. En las dos restantes, aunque no alcanzaron dicho valor, el mismo fue muy próximo, por lo que igual se consideraron que confirmaron la ovulación.

Se detectó una interacción entre tratamiento y paridad para la proporción de vacas que ovularon durante la primera onda folicular PP ($p < 0,05$; figura 8). Mientras que la proporción de vacas primíparas suplementadas con SGE que ovularon durante la primera onda folicular PP fue mayor respecto a las no suplementadas, no hubo efecto del tratamiento entre las vacas multíparas ($p > 0,10$). Dicha proporción fue menor ($p < 0,01$) en las vacas primíparas no suplementadas respecto a los otros tratamientos, que no se diferenciaron entre sí ($p > 0,10$; figura 8).

Se detectó una interacción entre tratamiento y paridad para el IPOV ($p < 0,01$; cuadro 4). La suplementación con SGE redujo la longitud del IPOV ($p < 0,001$) solo en las vacas primíparas pero no en las multíparas. El IPOV fue más prolongado en las vacas primíparas no suplementadas respecto a los restantes tratamientos ($p < 0,002$), que no se diferenciaron entre sí ($p > 0,10$; cuadro 4).

No hubo efecto de la suplementación con SGE o la paridad sobre el máximo DFD de la primera onda folicular PP (G0 = 14,6, G0.7 = 15,4, G1.4 = 15,2 mm; primíparas =

14,8, multíparas = 15,6 mm), el día en que se alcanzó dicho diámetro ($G0 = 14,5$, $G0.7 = 14,1$, $G1.4 = 15,2$ días; primíparas = 14,1, multíparas = 15,1 días) o el DSF ($G0 = 6,1$, $G0.7 = 6,3$, $G1.4 = 7,0$ mm; primíparas = 6,6, multíparas = 6,3 mm) ($p > 0,10$; cuadro 4).

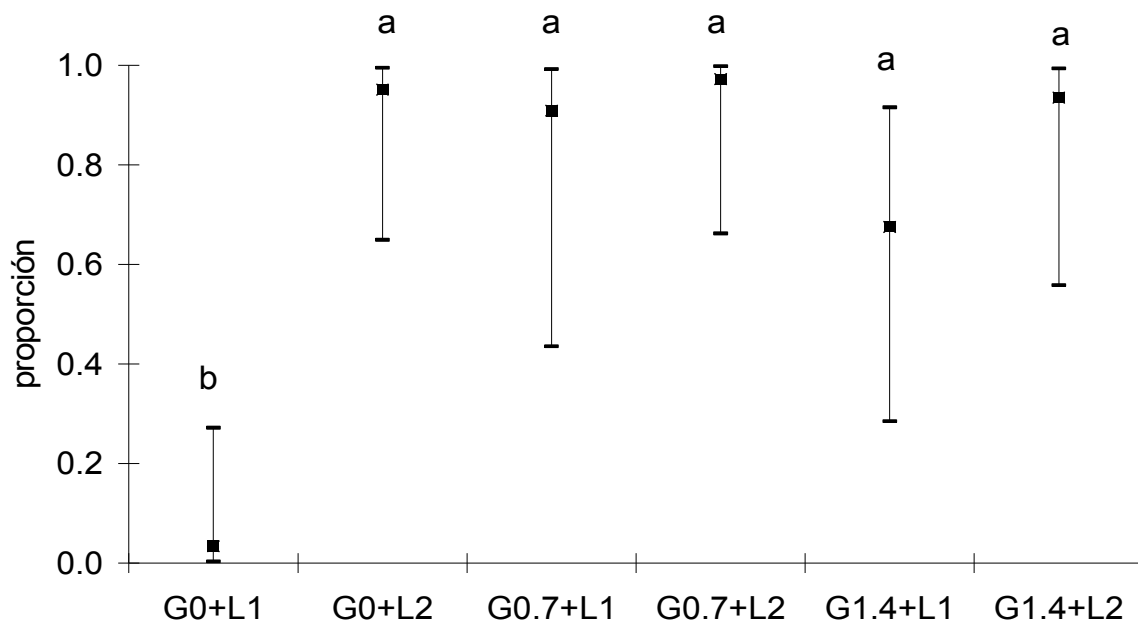


Figura 8. Medias de mínimos cuadrados (■) e intervalo de 95% de confianza para la variable proporción de vacas que ovulan durante la primera onda folicular posparto, según tratamiento y paridad (letras distintas sobre barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$)). Se detectó efecto de tratamiento ($p < 0,05$), paridad ($p < 0,01$) y una interacción entre tratamiento y paridad ($p < 0,04$). L1 y L2 = vacas primíparas y multíparas, respectivamente.

DISCUSIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIETAS Y CONSUMO

Los resultados de este experimento demostraron que la inclusión de una fuente de lípidos poliinsaturados como SGE hasta 1,4 kg/día o 6,7 % en la dieta de vacas lecheras primíparas y multíparas en pastoreo durante la lactancia temprana no tuvo efectos adversos sobre el consumo, la producción de leche o la concentración y producción de sólidos lácteos, pero incrementó la ET de la leche, y redujo el IPOV en las vacas primíparas pero no en las multíparas.

El consumo de pastura fue similar al reportado por otros autores en nuestro país para vacas lecheras a inicio de lactancia en condiciones de pastoreo restringido y suplementadas con ensilaje y concentrados (Mattiauda et al., 2003). Si bien el consumo de lípidos poliinsaturados puede afectar negativamente el CMS de las vacas lecheras (Allen, 2000), en este experimento esto no ocurrió. Otros autores tampoco encontraron efectos negativos de la suplementación con SGE sobre el CMS de vacas lecheras estabuladas (Rafalowski et al., 1982; He et al., 2005) o en pastoreo (Rearte et al., 1989). Cuando los lípidos poliinsaturados se ofrecen bajo la forma de semillas oleaginosas enteras o solo partidas, es posible que la velocidad de liberación de los ácidos grasos al rumen y/o el acceso de los microorganismos a los mismos se vea reducido (Chilliard y Ferlay, 2004), lo que evitaría la acumulación de señales que podrían deprimir el consumo. Respaldando esta última hipótesis, Gagliostro et al. (2004a) y Wyss y Collomb (2006) observaron efectos adversos sobre el CMS de vacas lecheras en pastoreo cuando se adicionó semilla de girasol molida hasta 13-14% de la dieta (base seca), aunque es posible que además haya existido un efecto del contenido total de lípidos. Por otra parte, el consumo de semilla de girasol generalmente no altera la degradación ruminal de la fibra, tanto en vacas lecheras en condiciones de pastoreo (Gagliostro et al., 2004c) como de estabulación (Sarrazin et al., 2004), lo que sugeriría que en este experimento no habría habido una limitación de la capacidad de consumo de los animales por un enlentecimiento de la digestión de esta fracción. Hay que señalar que en el nivel de inclusión de SGE más alto (7,1% de la dieta (base seca) de las vacas primíparas del tratamiento G1.4), el contenido de EE de la dieta fue

de 5,7%, lo que está por debajo del valor máximo sugerido por el NRC (2001) para vacas lecheras a inicio de lactancia (6%). Debido a que el consumo de ENL y PC no difirió entre las distintas dietas es posible considerar que los efectos de la SGE que se reportan en este experimento se debieron a un consumo diferencial de lípidos poliinsaturados, y no de ENL o PC.

PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE LA LECHE

La falta de efecto del tratamiento sobre la producción diaria de leche coincide con la falta de efecto de la SGE sobre el consumo de ENL y PC ya mencionada, y sobre la síntesis y concentración de lactosa, siendo este resultado similar al observado por otros autores (Rearte et al., 1989; He et al., 2005).

Aunque el uso de fuentes de lípidos poliinsaturados puede conducir a una depresión tanto de la síntesis como el porcentaje de grasa en la leche (Bauman y Griinari, 2003), en este experimento no se observó dicho efecto, en acuerdo con lo comunicado por otros autores (Rafalowski y Park, 1982; Rearte et al., 1989; He et al., 2005). Sin embargo, tanto el contenido como la producción de grasa de las vacas del tratamiento G1.4 disminuyeron marcadamente a lo largo del experimento, respecto a los otros tratamientos. Al usar semillas de girasol enteras, es posible que la presencia de la cubierta haya restringido tanto el pasaje de AGPI hacia el rumen como de los microorganismos hacia los lípidos en el interior de las semillas (Chilliard y Ferlay, 2004), evitando cambios en los patrones de biohidrogenación de los AGPI que causarían la acumulación de ciertos ácidos grasos (i.e. *trans*-10, *cis*-12 CLA) que inhiben la síntesis *de novo* de grasa en la glándula mamaria (Bauman y Griinari, 2003). Sin embargo, dado que por su tamaño la semilla de girasol es adecuadamente masticada y/o rumiada (Gibb et al., 2004), es posible que al ofrecerla en gran cantidad el tratamiento G1.4, la liberación de AGPI haya sido suficiente como para alterar los mencionados patrones de biohidrogenación ruminal al menos parcialmente, o bien que el pasaje de AG de cadena larga al tracto posterior fuera tal que una gran cantidad de estos fueran captados por la glándula mamaria, donde podrían ejercer efectos negativos sobre la síntesis *de novo* de ácidos grasos (Chilliard et al., 2000). La alta proporción de

forrajes con fibra efectiva (ensilaje de trigo y en menor medida la pastura) en la dieta de las vacas con mayor nivel de SGE, al mantener un ambiente ruminal estable, habría evitado que la síntesis de grasa fuera afectada (Palmquist y Conrad, 1978). El breve período de suplementación con SGE (solo hasta la semana 8 PP) también podría explicar que no se detectara una disminución de la producción y concentración de grasa láctea en el tratamiento G1.4.

La falta de efecto de los tratamientos sobre la producción y concentración de proteína y CAS láctea coincide con lo observado por distintos autores (Rafalowski y Park, 1982; Markus et al., 1996; He et al., 2005). Se ha señalado que el uso de fuentes de lípidos generalmente no afecta la síntesis de proteína pero puede disminuir la concentración de proteína, y dentro de ésta, la fracción caseína, por un efecto de dilución (Wu y Huber, 1994). El mismo sería más frecuente en animales en balance de nitrógeno negativo (por ejemplo, en lactancia temprana) y asociado a una reducción del CMS, lo que limitaría el aporte de aminoácidos para la síntesis de proteína en la glándula mamaria, en una situación en la que la producción de leche se incrementa (Wu y Huber, 1994). Como en el presente experimento ni el consumo de PC ni la producción de leche difirieron entre tratamientos, se puede asumir que el aporte de aminoácidos fue suficiente para cubrir los requerimientos asociados a la síntesis de proteína y CAS de los animales de todos los tratamientos. El mayor potencial de producción de las vacas en condiciones de estabulación de los trabajos revisados por Wu y Huber (1994) probablemente determinó un balance de nitrógeno más negativo respecto a las vacas de este experimento, que los habría hecho más susceptibles a los efectos adversos del consumo de lípidos.

La PC de la SGE y la harina de girasol presentan una alta tasa de degradabilidad ruminal ($kd = 17,0 \text{ \%}/h$; NRC, 2001), lo que explicaría parcialmente la mayor concentración de NUL en el tratamiento G1.4 respecto a los restantes. Probablemente, el menor contenido de CHO no fibrosos (azúcares, almidón y pectinas) en la dieta de las vacas del tratamiento G1.4 habría determinado una menor disponibilidad de energía fermentable que habría impedido a los microorganismos del rumen aprovechar eficientemente el amonio disponible, y que se habría reflejado en una mayor concentración de NUL. Por otra parte, la mayor proporción de harina de girasol en el concentrado comercial G1.7, cuya PC

tiene una alta degradabilidad ruminal (29 %/h; NRC, 2001), también habría contribuido a explicar estos resultados.

El mayor contenido de NUL en el tratamiento G1.4 explicaría parcialmente la mayor proporción de muestras con alta ET evidenciada en dicho nivel, ya que según McCrae y Muir (1995), la urea contribuye a estabilizar el pH durante el calentamiento de la leche, retardando la coagulación de las proteínas. Sin embargo, es improbable que esta sea la única explicación de estos resultados, ya que la ET fue tan alta en el tratamiento G0.7 como en el G1.4, aunque la concentración de NUL fue menor. Por otra parte, la concentración de NUL no fue distinta entre los tratamientos G0.7 y G0, pero la ET fue mayor en el primero. Es posible que algún componente de la leche con efecto sobre la ET y que no fue medido en el presente experimento (e.g. minerales en la leche; McCrae y Muir, 1995), haya tenido variaciones debido a la suplementación con SGE que causaran los resultados obtenidos.

CONDICIÓN CORPORAL, PERFILES METABÓLICOS E IGF-I

La falta de efecto de la suplementación con SGE sobre la CC, que puede ser considerado como un índice del balance de energía del animal (Edmonson et al., 1989), coincide con lo reportado por Ortiz et al. (1998) y He et al. (2005), y junto a los anteriores resultados, confirmaría que el balance de energía fue similar entre los distintos tratamientos.

El aumento de la concentración plasmática de AGNE debido a la suplementación con SGE coincide con lo encontrado por otros autores que utilizaron lípidos provenientes de semilla de girasol (Finn et al., 1985) u otras fuentes (Palmquist y Conrad, 1978; Storry et al., 1980). Sin embargo, este efecto no sería función de un balance energético más negativo, sino que estaría asociado a una captación incompleta de AGNE luego de la hidrólisis de triglicéridos plasmáticos (aumentados durante la suplementación lipídica) por la enzima lipoproteína lipasa, o bien a una menor re-esterificación de AGNE en triglicéridos en el tejido adiposo de vacas lecheras consumiendo lípidos (Grummer y Carroll, 1991). Por otra parte, la falta de efecto de los tratamientos sobre la concentración plasmática de β OHB, si bien coincide con lo observado por otros autores (Grummer y Carroll, 1991; Fahey et al.,

2002), no tiene una explicación clara. La ausencia de efecto del tratamiento sobre la concentración de glucosa coincide con lo reportado por otros autores (Rafalowski y Park, 1982; Beam y Butler, 1998; Lake et al., 2006) y es consistente con el hecho que su concentración se encuentra bajo fuerte control homeostático (Herdt, 2000).

La mayor concentración de NUP en el tratamiento G1.4 es consistente con el mayor contenido de NUL, y se habría debido en parte a la alta degradabilidad ruminal de la PC de la SGE pero también a la mayor proporción de harina de girasol (también con PC de alta degradabilidad ruminal) en el concentrado comercial en aquel tratamiento. Sin embargo, otros trabajos que utilizaron semilla de girasol no detectaron efectos sobre la concentración de NUP (Drackley et al., 1985; Gagliostro et al., 2004b), indicando que sus efectos sobre esta variable podrían estar asociados a la cantidad utilizada y/o a las características de los otros alimentos que se ofrecen en la dieta.

Otros metabolitos indicadores del metabolismo nitrogenado como albúminas y globulinas no fueron afectados por los tratamientos, lo que coincide con lo encontrado por otros autores que evaluaron SGE (Rafalowski y Park, 1982) u otras fuentes de lípidos (West y Hill et al., 1990; Fahey et al., 2002) en dietas de vacas lecheras. El efecto diferencial del consumo de SGE sobre la concentración de estos metabolitos respecto a NUP se habría debido a que mientras este último refleja rápidamente el nivel de consumo de proteína actual, las albúminas son indicadores del balance nitrogenado animal en el largo plazo (Manston et al., 1975), siendo poco afectados por el nivel de PC de la dieta (Blauwiekel y Kincaid, 1986).

REINICIO DE LA ACTIVIDAD LUTEAL POSPARTO

La mayor proporción de vacas primíparas suplementadas que ovularon durante la primera onda folicular PP determinó una reducción en la longitud del IPOV respecto a las no suplementadas, que resultó similar al de las vacas múltiparas (independientemente del tratamiento). Estos resultados coinciden con Beam y Butler (1999), quienes trabajando con vacas lecheras señalaron que la ovulación del folículo dominante de la primera onda folicular PP redujo la duración del IPOV respecto a aquellos casos donde dichos folículos no ovulaban. Otros autores también han reportado una disminución en la longitud del IPOV

asociado al consumo de lípidos insaturados, tanto en vacas de cría en pastoreo (Wehrman et al., 1991; Espinoza et al., 1995; Webb et al., 2001) como en vacas lecheras (Beam y Butler, 1997), aunque no siempre (Meier et al., 2006). El máximo DFD en la primera onda folicular PP, el día en que dicho diámetro fue alcanzado y el DFS no siguieron el mismo patrón de respuesta que el IPOV a la suplementación con SGE. De manera similar, la inclusión de afrechillo de arroz entero (rico en ácido linoleico) en la dieta de vacas de cría luego del parto redujo el IPOV sin cambios importantes en el patrón de crecimiento y desarrollo folicular (Webb et al., 2001), mientras que García-Bojalil et al. (1998) comunicaron que la suplementación con lípidos redujo el intervalo parto a primera elevación de progesterona en vacas lecheras en el posparto temprano sin afectar el máximo DFD.

En este experimento, la explicación de la respuesta diferencial de vacas primíparas y múltiparas a la suplementación con SGE, en términos de la longitud del IPOV, no es clara. Para algunos autores (Bellows et al., 2001; Funston, 2004; Boken et al., 2005), las hembras bovinas en crecimiento o en situación de estrés son los animales con mayor probabilidad de presentar respuesta (en distintas variables reproductivas) a la suplementación con lípidos, pero no aquellos animales con un adecuado estado nutricional. Aunque las vacas primíparas en pastoreo se adaptan con mayor dificultad que las múltiparas al inicio de la lactancia, lo que se refleja en perfiles metabólicos más desbalanceados (Cavestany et al., 2005), esto no ocurrió en este experimento. Sin embargo, es posible que una vaca enfrentada a un estrés durante las primeras semanas de lactancia adapte su producción y su estado metabólico a dicha situación, causando que los metabolitos retornen rápidamente a valores considerados “normales”, por lo su monitoreo podría no necesariamente reflejar la restricción nutricional a la que se vio sometida el animal Whitaker (2004). También es posible especular que, debido a la mayor fragilidad metabólica de las vacas primíparas respecto a las múltiparas, un mismo valor de un metabolito (e.g. NEFA) represente una situación de desafío comparativamente mayor para aquellas.

Las lipoproteínas de alta densidad (**LAD**) se incrementan en el plasma de bovinos luego de la ingesta de lípidos (Storry et al., 1980), y se ha observado que la producción de IGF-I se incrementa en las células de la granulosa de folículos desarrollados *in vitro* con LAD. Debido a que la IGF-I es un potente estimulador de la proliferación de células de la

teca y granulosa, y la síntesis de esteroides en el folículo bovino (Lucy, 2000), ha sido propuesta como el vínculo entre el consumo de lípidos y la alteración de la dinámica folicular en bovinos (Thomas et al., 1997; Staples et al., 1998). En este experimento la concentración plasmática de IGF-I durante el momento de máximo DFD de la primera onda folicular PP no fue afectada por la suplementación con SGE, lo que coincide con otros autores que no observaron efectos de la suplementación con lípidos sobre la concentración plasmática de esta hormona (Lucy et al., 1993; Bottger et al., 2002; Lake et al., 2006). Hay que señalar que la medición de la concentración plasmática no sería necesariamente el mejor indicador de la disponibilidad de IGF-I para el folículo (Lucy, 2000; Viñoles et al., 2005), ya que la misma depende del nivel de proteínas ligantes de IGF y proteasas en el ambiente folicular (Rajaram et al., 1997; Spicer, 2004), y porque la medición de la concentración plasmática no considera las eventuales diferencias en tasa de desaparición o captación de la hormona por las células que podrían ocurrir debido al consumo de lípidos (Funston, 2004). Por ejemplo, en un experimento se reportó que la suplementación de vacas para cría con lípidos poliinsaturados tuvo efectos positivos sobre distintos procesos reproductivos sin cambios en la concentración plasmática de IGF-I (Ryan et al., 1995), mientras que Thomas et al. (1997) encontraron que la suplementación con lípidos poliinsaturados, si bien no modificó la concentración plasmática de IGF-I, incrementó la del líquido folicular, y simultáneamente estimuló el desarrollo y crecimiento folicular. También hay que señalar que la medición puntual de la IGF-I al momento del mayor DFD tal vez no refleje el ambiente previo en el que se desarrolló dicho folículo.

La falta de efecto del tratamiento sobre la concentración plasmática de colesterol, fue inesperada, porque generalmente la suplementación con lípidos incrementa la síntesis intestinal de este metabolito en respuesta al aumento en la absorción de lípidos dietarios en el intestino delgado (Nestel et al., 1978). El colesterol ha sido señalado como un posible mediador de los efectos de la suplementación lipídica sobre el desarrollo folicular (Wehrman et al., 1991; Beam y Butler, 1997), ya que es precursor de la síntesis de hormonas esteroideas (Grummer y Carroll, 1988) Sin embargo, en otros experimentos la inclusión de semilla de girasol molida en la dieta de vacas en pastoreo (Gagliostro et al., 2004b), u otras fuentes de lípidos, tampoco afectó el nivel plasmático de colesterol (Lucy et al., 1993; Christensen et al., 1994; Fahey et al., 2002), aunque no se ha podido encontrar

una explicación para estos resultados. Del mismo modo que en este experimento, Lammoglia et al. (1997) observaron un efecto positivo del suministro de lípidos poliinsaturados sobre distintos aspectos de la dinámica folicular de vacas de cría durante el ciclo estral, que no estuvo acompañado de cambios en la concentración plasmática de colesterol, mientras que Beam y Butler (1997) reportaron una reducción en la duración del IPOV debido al consumo de lípidos, que tampoco estuvo asociada a cambios en la concentración plasmática de colesterol. Aunque existe una correlación positiva entre la concentración de colesterol total en plasma y en el líquido folicular (Leroy et al., 2004), Grummer y Carroll (1988) señalaron que la medición del colesterol total en plasma no necesariamente indicaría la cantidad de sustrato disponible para la síntesis de esteroides a nivel folicular. Asimismo, Grummer y Carroll (1991) sugirieron que el aumento de la síntesis de esteroides ováricos en vacas alimentadas con lípidos podría estar vinculado a un aumento en la captación de colesterol por las células del folículo y no solamente por una mayor concentración plasmática de colesterol.

CONCLUSIONES

- La inclusión de una fuente de lípidos poliinsaturados como la semilla de girasol entera hasta 1,4 kg (materia fresca) por día, equivalentes a una proporción de 6,7% de la dieta (base seca) de vacas primíparas y multíparas en pastoreo a inicio de lactancia, no tuvo efectos adversos sobre el consumo de materia seca, la producción de leche y la producción y concentración de grasa, proteína, caseína coagulable al cuajo y lactosa, pero incrementó la estabilidad térmica de la leche.
- La inclusión de una fuente de lípidos poliinsaturados como la semilla de girasol entera hasta 1,4 kg (materia fresca) por día, equivalentes a una proporción de 6,7% de la dieta (base seca) de vacas primíparas y multíparas en pastoreo a inicio de lactancia, no tuvo efectos sobre la condición corporal, ni modificó sustancialmente el perfil metabólico de los animales, a excepción de la concentración de AGNE o NUP, o la concentración plasmática de IGF-I (medida en el momento en que el folículo dominante de la primera onda folicular posparto alcanzó su máximo diámetro).
- La inclusión de una fuente de lípidos poliinsaturados como la semilla de girasol entera hasta 1,4 kg (materia fresca) por día, equivalentes a una proporción de 6,7% de la dieta (base seca) de vacas primíparas y multíparas en pastoreo a inicio de lactancia, redujo el intervalo parto a primera ovulación de las vacas primíparas aunque no de las multíparas. El mecanismo que vinculó el consumo de lípidos poliinsaturados con el re-establecimiento más temprano de la actividad luteal posparto en las vacas primíparas no estuvo relacionado con cambios en la concentración plasmática de colesterol, o de IGF-I en el momento en que el folículo dominante de la primera onda folicular posparto alcanzó su máximo diámetro.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Abayasekara, D.R.E. and Wathes, D.C.** 1999. Effects of altering dietary fatty acid composition on prostaglandin synthesis and fertility. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 61: 275-287.
2. **AbuGhazaleh, A.A.; Schingoethe, D.J.; Hippen, A.R. and Kalscheur, K.F.** 2003. Conjugated linoleic acid and vaccenic acid in rumen, plasma, and milk of cows fed fish oil and fats differing in saturation of 18 carbon fatty acids. *J. Dairy Sci.* 86: 3648-3660.
3. **Adrien, M.L.; Chilibruste, P.; Mattiauda, D.A.; Blanc, J.E.; Ferraris, A.; Cavestany, D. y Meikle, A.** 2006. Efecto de las cantidades crecientes de forraje sobre la performance reproductiva de vaquillonas lecheras en condiciones pastoriles. En: XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú. pp. 174-176.
4. **Allen, M.S.** 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83: 1598-1624.
5. **Ambrose, D.J.; Kastelic, J.P.; Corbett, R.; Pitney, P.A.; Petit, H.V.; Small, J.A. and Zalkovic, P.** 2006. Lower pregnancy losses in lactating dairy cows fed a diet enriched in α -linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 89: 3066-3074.
6. **Anderson, M.J.; Obadiah, Y.E.M.; Boman, R.L. and Walters, J.L.** 1984. Comparison of whole cottonseed, extruded soybeans, or whole sunflower seeds for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67: 569-573.
7. **Banta, J.P.; Lalman, D.L.; Owens, F.N.; Krehbiel, C.R. and Wettemann, R.P.** 2006. Effects of interval-feeding whole sunflower seeds during mid to late gestation on performance of beef cows and their progeny. *J. Anim. Sci.* 84: 2410-2417.
8. **Bao, B.; Thomas, M.G.; Griffith, M.K.; Burghardt, R.C. and Williams, G.L.** 1995. Steroidogenic activity, insulin-like growth factor-I production, and proliferation of granulosa and theca cells obtained from dominant preovulatory and nonovulatory follicles during the bovine estrous cycle: effects of low-density and high-density lipoproteins. *Biol. Reprod.* 53: 1271-1279.
9. **Bauman, D.E.** 2000. Regulation of nutrient partitioning during lactation: homeostasis and homeorhesis revisited. In: *Ruminant Physiology: Digestion,*

- Metabolism, Growth and Reproduction. Ed: Cronjé, P.B. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 311-328.
10. **Bauman, D.E. and Grinari, J.M.** 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23: 203-227.
 11. **Beam, S.W. and Butler, W.R.** 1997. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biol. Reprod.* 56: 133-142.
 12. **Beam, S.W. and Butler, W.R.** 1998. Energy balance, metabolic hormones, and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J. Dairy Sci.* 81: 121-131.
 13. **Beam, S.W. and Butler, W.R.** 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fert. Supplement* 54: 411-424.
 14. **Beitz, D.C.** 1993. Lipid metabolism. In: *Duke's Physiology of Domestic Animals*. 11th Edition. Ed: M.J. Swenson, W.O. Reece. Cornell University Press, Ithaca, N.J., USA. pp. 464-467.
 15. **Bell, A. W.** 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73: 2804-2819.
 16. **Bellows, R.A.; Grings, E.E.; Simms, D.D.; Geary, T.W. and Bergman, J.W.** 2001. Effects of feeding supplemental fat during gestation to first-calf beef heifers. *Prof. Anim. Sci.* 17: 81-89.
 17. **Bett, V.; Dal Secco de Oliveira, M.; Matsushita, M.; Arlington Headley, S. and Evelázio de Souza, N.** 2004. Effects of sunflower oilseed supplementation on fatty acid profile and milk composition from Holstein cows. *Acta Scientiarum. Animal Sciences (Brasil)* 26: 95-101.
 18. **Blanc, J.E.; Meikle, A.; Ferraris, A.; Herrman, J.; Rodríguez-Irazoqui, M. y Cavestany, D.** 2002. Manejo reproductivo tradicional vs. inseminación a tiempo fijo en vacas Holando primíparas en el Uruguay. En: *XXX Jornadas Uruguayas de Buiatría*. Paysandú. pp. 308-311.
 19. **Blauwiel, R. y Kincaid, R.L.** 1986. Effect of crude protein and solubility on performance and blood constituents of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69: 2091-2098.

20. **Block, S.S.; Rhoads, R.P.; Bauman, D.E.; Ehrhardt, R.A.; McGuire, M.A.; Crooker, B.A.; Griinari, J.M.; Mackle, T.R.; Weber, W.J.; Van Amburgh, M.E. and Boisclair, Y.R.** 2003. Demonstration of a role for insulin in the regulation of leptin in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 3508-3515.
21. **Boken, S.L.; Staples, C.R.; Sollenberger, L.C.; Jenkins, T.C. and Thatcher, W.W.** 2005. Effect of grazing and fat supplementation on production and reproduction of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 88: 4258-4272.
22. **Bottger, J.D.; Hess, B.W.; Alexander, B.M.; Hixon, D.L.; Woodard, L.F.; Funston, R.N.; Hallford, D.M. and Moss, G.E.** 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.
23. **Britt, J. H.** 1985. Enhanced reproduction and its economic implications. *J. Dairy Sci.* 68: 1585-1592.
24. **Burke, J.M.; Staples, C.R.; Risco, C.A.; de la Sota, R.L. and Thatcher, W.W.** 1997. Effect of ruminant grade Menhaden fish meal on reproductive and productive performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 3386-3398.
25. **Burke, C.R.; Roche, J.R.; Aspin, P.W. and Lee, J.M.** 2006. A nutrient-signalling effect of grain feeding on postpartum anovulatory intervals in mature dairy cows. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 66: 334-338.
26. **Butler, S.T.; Marr, A.L.; Pelton, S.H.; Radcliff, R.P.; Lucy, M.C. and Butler, W.R.** 2003. Insulin restores GH responsiveness during lactation-induced negative energy balance in dairy cattle: effects on expression of IGF-I and GH receptor 1A. *J. Endoc.* 176: 205-217.
27. **Butler, S.T.; Pelton, S.H. and Butler, W.R.** 2004. Insulin increases 17 β -estradiol production by the dominant follicle of the first postpartum follicle wave in dairy cows. *Reproduction* 127: 537-545.
28. **Butler, W.R. and Smith, R.D.** 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 72: 767-783.
29. **Byers, F. M. and Schelling, G.T.** 1988. Lipids in ruminant nutrition. In: *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Ed: Church, D.C. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA. pp. 298-312.

30. **Canfield, R.W. and Butler, W.R.** 1990. Energy balance and pulsatile LH secretion in early postpartum dairy cattle. *Dom. Anim. Endoc.* 7: 323-330.
31. **Carr, D.L.; Spitzer, J.C.; Jenkins, T.C.; Burns, G.L. and Plyler, B.B.** 1994. Effect of dietary lipid supplementation on progesterone concentration and reproductive performance in suckled beef cows. *Theriogenology* 41: 423-435.
32. **Carriquiry, M.** 2006. Dietary fat and bovine somatotropin (bST) initiated in early lactation in dairy cows. PhD. Thesis. University of Minnesota. USA. 246 p.
33. **Carroll, D.J.; Jerred, M.J.; Grummer, R.R.; Combs, D.K.; Pierson, R.A. and Hauser, E.R.** 1990. Effects of fat supplementation and immature alfalfa to concentrate ratio on plasma progesterone, energy balance, and reproductive traits of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73: 2855-2863.
34. **Casper, D.P.; Schingoethe, D.J.; Middaugh, R.P. and Baer, R.J.** 1988. Lactational responses of dairy cows to diets containing regular and high oleic acid sunflower seeds. *J. Dairy Sci.* 71: 1267-1274.
35. **Cavestany, D.** 1999. Efecto de la eficiencia y precisión de la detección de estro en el manejo reproductivo de vacas Holstein en condiciones de pastoreo. Tesis PhD. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 163 p.
36. **Cavestany, D.** 2000. Eficiencia reproductiva. En: Cavestany, D. (Ed.), *Manejo reproductivo en vacas lecheras. Serie Técnica No 115.* INIA. Uruguay. pp. 1-11.
37. **Cavestany, D.; Galina, C.S. and Viñoles, C.** 2001. Efecto de las características del reinicio de la actividad ovárica posparto en la eficiencia reproductiva de vacas Holstein en pastoreo. *Arch. Med. Vet. (Chile)* 33: 217-226.
38. **Cavestany, D.; Blanc, J.E.; Kulcsár, M.; Uriarte, G.; Chilibroste, P.; Meikle, A.; Febel, H.; Ferraris, A. and Krall, E.** 2005. Studies of the transition cow under a pasture-based milk production system: metabolic profiles. *J. Vet. Med. A* 52: 1-7.
39. **Cavestany, D.; La Manna, A.; Mendoza, A.; Albanell, F.; Belassi, S.; Olariaga, F.; Pérez, M.N. y Silva, A.** 2006. Efecto de diferentes dietas durante el periodo de transición (PT) sobre la producción y calidad de leche y el inicio de la actividad ovárica de vacas lecheras en pastoreo. En: *Jornada Técnica de Lechería. Serie de Actividades de Difusión No 455.* INIA. Uruguay. pp. 9-16.

40. **Chalupa, W.; Vecchiarelli, B.; Elser, A.; Kronfeld, D.S.; Sklan, D. and Palmquist, D.L.** 1986. Ruminant fermentation in vivo as influenced by long-chain fatty acids. *J. Dairy Sci.* 69: 1293-1301.
41. **Chilibroste, P.; Ibarra, D.; Zibil, S. y Laborde, D.** 2004a. Monitoreo de vacas de parición de otoño en sistemas comerciales. 2. Condición de pasturas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (Supl. 1): 362-363.
42. **Chilibroste, P.; Ibarra, D.; Zibil, S. y Laborde, D.** 2004b. Monitoreo de vacas de parición de otoño en sistemas comerciales. 3. Consumo de forraje. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (Supl. 1): 364-365.
43. **Chilliard, Y.** 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: A review. *J. Dairy Sci* 76: 3897-3931.
44. **Chilliard, Y.** 1999. Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal. In: *Biology of Lactation*. Eds: Martinet, J., Houdebine, L.M., Head, H.H. Inserm/INRA. Paris, France. pp. 503-552.
45. **Chilliard, Y.; Ferlay, A.; Mansbridge, R.M. and Doreau, M.** 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Annal. Zootech.* 49: 181-205.
46. **Chilliard, Y. and Ferlay, A.** 2004. Dietary lipids and forage interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod. Nut. Dev.* 44: 467-492.
47. **Chilliard, Y.; Delavaud, C. and Bonnet, M.** 2005. Leptin expression in ruminants: Nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Dom. Anim. Endoc.* 29: 3-22.
48. **Christensen, R.A.; Drackley, J.K.; LaCount, D.W. and Clark, J.H.** 1994. Infusion of four long-chain fatty acid mixtures into the abomasum of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1052-1069.
49. **Clark, B.A.; Chagas, L.M.; Gore, P.M.; Dow, B. and Verberk, G.A.** 2000. Prediction of post-partum anovulatory interval in dairy cows. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 60: 15-18.
50. **Collomb, M.; Sollberger, H.; Bütikofer, U.; Sieber, R.; Stoll, W. and Schaeren, W.** 2004. Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed,

- linseed and sunflowerseed on the fatty acid composition of milk fat. *Int. Dairy J.* 14: 549-559.
51. **Darwash, A. O.; Woolliams, J.A. and Lamming, G.E.** 1997. The phenotypic association between the interval to postpartum ovulation and traditional measures of fertility in dairy cattle. *Anim. Sci.* 65: 9-16.
 52. **Davies, D.T. and White, J.C.D.** 1966. The stability of milk protein to heat. I. Subjective measurement of heat stability of milk. *J. Dairy Res.* 33: 67-81.
 53. **Dayani, O.; Ghorbani, G.; Entz, T.; Ross, C.M.; Shah, M.A.; Beauchemin, K.A.; Mir, P.S. and Mir, Z.** 2004. Effect of dietary soybean or sunflower seeds on milk production, milk fatty acid profile and yield of conjugated linoleic acid. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 113-124.
 54. **De Fries, C.A.; Neuendorff, D.A. and Randel, R.D.** 1998. Fat supplementation influences postpartum reproductive performance in Brahman cows. *J. Anim. Sci.* 76: 864-870.
 55. **Delazari, J.A.; Fonseca, F.A.; de Queiroz, A.C.; Pereira, J.C. y Cecon, P.R.** 2000. Desempenho reprodutivo, concentrações de progesterona e metabólitos lipídicos no pós-parto de vacas mestiças H/Z, submetidas a uma dieta hiperlipidêmica. *Rev. Bras. Zootec.* 29: 413-420.
 56. **Dijkhuizen, A.A.; Stelwagen J. and Renkema, J.A.** 1985. Economic aspects of reproductive failure in dairy cattle. I. Financial loss at farm level. *Prev. Vet. Med.* 3: 251-263.
 57. **Diskin, M.G.; Mackey, D.R.; Roche, J.F. and Sreenan, J.M.** 2003. Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle *Anim. Reprod. Sci.* 78: 345-370.
 58. **Drackley, J.K.; Clark, A.K. and Sahl, T.** 1985. Ration digestibilities and ruminal characteristics in steers fed sunflower seeds with additional calcium. *J. Dairy Sci.* 68: 356-367.
 59. **Drackley, J.K. and Schingoethe, D.J.** 1986. Extruded blend of soybean meal and sunflower seeds for dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 69: 371-384.
 60. **Drackley, J.K.** 2000. Lipid metabolism. In: *Farm animal metabolism and nutrition.* Ed: D'Mello, J.P.F. CAB International. Wallingford, UK. pp. 97-119.

61. **Echternkamp, S.E.; Spicer, L.J.; Gregory, K.E.; Canning, S.F. and Hammond, J.M.** 1990. Concentrations of insulin-like growth factor-I in blood and ovarian follicular fluid of cattle selected for twins. *Biol. Reprod.* 43: 8-14.
62. **Edmonson, A.J.; Lean, J.; Weaver, L.D.; Farver, T. and Webster, G.** 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci* 72: 68-78.
63. **Elliott, J.P.; Drackley, J.K.; Aldrich, C.G. and Merchen, N.R.** 1997. Effects of saturation and esterification of fat sources on site and extent of digestion in steers: Ruminal fermentation and digestion of organic matter, fiber, and nitrogen. *J. Anim. Sci.* 1997. 75: 2803-2812.
64. **Ernst, O.** 2003. Uso del suelo en los tambos relevados. In: Proyecto "Interacción Alimentación-Reproducción". Informe final. CONAPROLE. Uruguay. pp. 19-25.
65. **Espey, L.L.** 1980. Ovulation as an inflammatory reaction. A hypothesis. *Biol. Reprod.* 22: 73-106.
66. **Espinoza, J.L.; Ramirez-Godinez, J.A.; Jimenez, J.A. and Flores, A.** 1995. Effects of calcium soaps of fatty acids on postpartum reproductive activity in beef cows and growth of calves. *J. Anim. Sci.* 73: 2888-2892.
67. **Fahey, J.; Mee, J.F.; O'Callaghan, D. and Murphy, J.J.** 2002. Effect of calcium salts of fatty acids and calcium salt of methionine hydroxy analogue on reproductive responses and milk production in Holstein-Friesian cows. *Anim. Sci.* 74: 145-154.
68. **Filley, S.J.; Turner, H.A. and Stormshak, F.** 1999. Prostaglandin F_{2α} concentrations, fatty acid profiles, and fertility in lipid-infused postpartum beef heifers. *Biol. Reprod.* 61: 1317-1323.
69. **Filley, S.J.; Turner, H.A. and 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.
70. **Finn, A. M.; Clark, A.K.; Drackley, J.K.; Schingoethe, D.J. and Sahl, T.** 1985. Whole rolled sunflower seeds with or without additional limestone in lactating dairy cattle rations. *J. Dairy Sci.* 68: 903-913.
71. **Földi, J.; Kulcsár, M.; Pecsí, A.A.; Huyghe, B.; De Sa, C.; Lohuis, J.A.C.M.; Cox, P. and Huszenicza, G.** 2006. Bacterial complications of postpartum uterine involution in cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 96: 265-281.

72. **Fox, D.G.; Tylutki, T.P.; Tedeschi, L.O.; Van Amburgh, M.E.; Chase, L.E.; Pell, A.N.; Overton, T.R. and Russell, J.B.** 2003. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Disponible en: <http://www.cncps.cornell.edu/>. Consulta: 9 de abril de 2007.
73. **Funston, R.N.** 2004. Fat supplementation and reproduction in beef females. *J. Anim. Sci.* 82 (E. Suppl.): E154–E161.
74. **Gagliostro, G.A.; Schang, M.E.; Garcarena, D.; Fernández, H.H.; Guaita, M.S. y Páez, R.** 2004a. Reemplazo de grano de maíz por semilla de girasol en vacas lecheras en pastoreo. 1. Consumo de materia seca, producción y composición de leche. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (Supl. 1): 42-43.
75. **Gagliostro, G.A.; Schang, M.E.; Garcarena, D.; Fernández, H.H.; Guaita, M.S. y Páez, R.** 2004b. Reemplazo de grano de maíz por semilla de girasol en vacas lecheras en pastoreo. 2. Metabolitos plasmáticos y composición de ácidos grasos de la leche. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (Supl. 1): 43-45.
76. **Gagliostro, G.A.; Schang, M.E.; Garcarena, D.; Fernández, H.H.; Guaita, M.S. y Páez, R.** 2004c. Reemplazo de grano de maíz por semilla de girasol en vacas lecheras en pastoreo. 3. Ambiente ruminal y digestión de la pastura. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (Supl. 1): 45-46.
77. **Garcia-Bojalil, C.M.; Staples, C.R.; Risco, C.A.; Savio, J.D. and Thatcher, W.W.** 1998. Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: reproductive responses. *J. Dairy Sci.* 81: 1385-1395.
78. **Gibb, D.J.; Owens, F.N.; Mir, P.S.; Mir, Z.; Ivan, M. and McAllister, T.A.** 2004. Value of sunflower seed in finishing diets of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 82: 2679-2692.
79. **Glister, C.; Tannetta, D.S.; Groome, N.P. and Knight, P.G.** 2001. Interactions between follicle-stimulating hormone and growth factors in modulating secretion of steroids and inhibin-related peptides by nonluteinized bovine granulosa cells. *Biol. Reprod.* 65: 1020-1028.
80. **Grappin, R. and Lefier, D.** 1993. Reference and routine methods for the measurement of nitrogen fractions in milk and whey. In: *Proceedings of the IDF*

- Seminar on Cheese yield and factors affecting its control. IDF. Brussels, Belgium. 191-203.
81. **Griinari, J.M.; Dwyer, D.A.; McGuire, M.A.; Bauman, D.E.; Palmquist, D.L. and Nurmela, K.V.V.** 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1251-1261.
 82. **Grimard, B.; Freret, S.; Chevallier, A.; Pinto, A.; Ponsart, C. and Humblot, P.** 2006. Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Anim. Reprod. Sci.* 91: 31-44.
 83. **Grummer, R.R. and Carroll, D.J.** 1988. A review of lipoprotein cholesterol metabolism: Importance to ovarian function. *J. Anim. Sci.* 66: 3160-3173.
 84. **Grummer, R.R. and Carroll, D.J.** 1991. Effects of dietary fat on metabolic disorders and reproductive performance of dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 69: 3838-3852
 85. **Grummer, R.R.; Mashek, D.G. and Hayirli, A.** 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Vet. Clin. Food. Anim.* 20: 447-470.
 86. **Havstad, K.M. and Malechek, J.C.** 1982. Energy expenditure by heifers grazing crested wheatgrass of diminishing availability. *J. Range Manage.* 35: 447-450.
 87. **He, M.L.; Mir, P.S.; Beauchemin, K.A., Ivan, M. and Mir, Z.** 2005. Effects of dietary sunflower seeds on lactation performance and conjugated linoleic acid content of milk. *Can. J. Anim. Sci.* 85: 75-83.
 88. **Herd, T.H.** 2000. Variability characteristics and test selection in herd-level nutrition and metabolic profiles testing. *Vet. Clin. Food Anim.* 16: 387-403.
 89. **Hightshoe, R.B.; Cochran, R.C.; Corah, L.R.; Kiracofe, G.H.; Harmon, D.L. and Perry, R.C.** 1991. Effects of calcium soaps of fatty acids on postpartum reproductive function in beef cows. *J. Anim. Sci.* 69: 4097-4103.
 90. **Huszenicza, G.; Molnár, L.; Solti, L. and Haraszti, J.** 1987. Postpartal ovarian function in Holstein and crossbred cows of large scale farms in Hungary. *J. Vet. Med. A* 34: 249-263.
 91. **Ibarra, D.** 2002. Indicadores reproductivos en la cuenca lechera de CONAPROLE en los servicios de otoño de 2001. En: X Congreso Latinoamericano de Buiatría.

- XXX Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, 12-15 de Junio de 2002. pp. 256-258.
92. **Ibarra, D. y Chilibroste, P.** 2003. Evolución de la condición corporal y variables reproductivas. En: Proyecto “Interacción Alimentación-Reproducción”. Informe final. CONAPROLE. Uruguay. pp. 34-45.
93. **IDF. International Dairy Federation.** 2000. Whole milk - Determination of milk-fat, protein and lactose content - Guidance for the operation of mid-infrared instruments. IDF Standard N° 141C. Brussels, Belgium. 12 p.
94. **Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero.** 2002. Informe técnico de primavera. Disponible en URL:
<http://www.fagro.edu.uy/~zootecnia/documentos/informe%20tecnico.pdf>. Consulta: 19 de agosto de 2006.
95. **Jenkins, T.C.** 1998. The benefits and limitations of fat in dairy rations. In: Proceedings of the Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Texas, USA. Disponible en URL: <http://www.txanc.org/proceedings/1998/benefits.pdf>. Consulta: 28 de diciembre de 2006.
96. **Jenkins, T.C.** 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76: 3851-3863.
97. **Johnson, S.K.; Stevenson, J.S.; Harmoney, K.R. and Brethour, J.R.** 2001. Effects of pre and/or postpartum fat supplementation on reproduction in mature beef cows. *J. Anim. Sci. (Suppl.1)*: 275 (abstract).
98. **Kadokawa, H. and Yamada, Y.** 1999. Relationship between days to postpartum first ovulation and days to reaching steady range of metabolite concentrations in dairy cows. *J. Reprod. Dev.* 45: 331-336.
99. **Kadokawa, H.; Blache, D.; Yamada, Y. and Martin, G.B.** 2000. Relationships between changes in plasma concentrations of leptin before and after parturition and the timing of first post-partum ovulation in high-producing Holstein dairy cows. *Reprod. Fertil. Dev.* 12: 405-411.
100. **Kappel, L.C.; Ingraham, R.H.; Morgan, E.B.; Zeringue, L.; Wilson, D. and Babcock, D.K.** 1984. Relationship between fertility and glucose and cholesterol concentrations in Holstein cows. *Am. J. Vet. Res.* 45: 2607-2612.

101. **Kawashima, C.; Kaneko, E.; Amaya, C.; Matsui, M.; Yamagishi, N.; Matsunaga, N., Ishii, M.; Kida, K.; Miyake, Y. and Miyamoto, A.** 2006. Relationship between the first ovulation within three weeks postpartum and subsequent ovarian cycles and fertility in high producing dairy cows. *J. Reprod. Dev.* 52: 479-486.
102. **Kennelly, J.J.** 1996. The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60: 137-152.
103. **Khamsi, F. and Armstrong, D.T.** 1997. Interactions between follicle-stimulating hormone and growth factors in regulation of deoxyribonucleic acid synthesis in bovine granulosa cells. *Biol. Reprod.* 57: 684-688.
104. **Kolver, E.S. and Muller, L.D.** 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81: 1403-1411.
105. **Kolver, E.S. and de Veth, M.J.** 2002. Prediction of ruminal pH from pasture-based diets. *J. Dairy Sci.* 85: 1255-1266.
106. **Lake, S.L.; Scholljegerdes, E.J.; Hallford, D.M.; Moss, G.E.; Rule, D.C. and Hess, B.W.** 2006. Effects of body condition score at parturition and postpartum supplemental fat on metabolite and hormone concentrations of beef cows and their suckling calves. *J. Anim. Sci.* 84: 1038-1047.
107. **Lammoglia, M.A.; Willard, S.T.; Oldham, J.R. and Randel, R.D.** 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.
108. **Lammoglia, M.A.; Willard, S.T.; Hallford, D.M. and Randel, R.D.** 1997. Effects of dietary fat on follicular development and circulating concentrations of lipids, insulin, progesterone, estradiol-17 β , 13,14-dihydro-15-keto-prostaglandin F2 α , and growth hormone in estrous cyclic brahman cows. *J. Anim. Sci.* 75: 1591-1600.
109. **Lean, L.J.; Farver, T.B.; Troutt, H.F.; Bruss, M.L.; Galland, J.C.; Baldwin, R.L.; Holmberg, C.A. and Weaver, L.D.** 1992. Time series cross-correlation analysis of postparturient relationships among serum metabolites and yield variables in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 75: 1891-1900.

110. **Lefier, D.** 1996. Analytical methods for the determination of the urea content in milk. *Bull. IDF.* 315: 35-38.
111. **Leroy, J.L.M.R.; Vanholder, T.; Delanghe, J.R.; Opsomer, G.; Van Soom, A.; Bols, P.E.J. and De Kruif, A.** 2004. Metabolite and ionic composition of follicular fluid from different-sized follicles and their relationship to serum concentrations in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 80: 201-211.
112. **Licitra, G.; Hernandez, T.M. and Van Soest, P.J.** 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57: 347-358.
113. **Littell, R.C.; Henry, P.R. and Ammerman, C.B.** 1998. Statistical analysis of repeated measures using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 1998 76: 1216-1231.
114. **Lucy, M.C.; Staples, C.R.; Michel, F.M. and Thatcher, W.W.** 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.
115. **Lucy, M.C.; Savio, J.D.; Badinga, L.; De La Sota, R.L. and Thatcher, W.W.** 1992a. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 3615-3626.
116. **Lucy, M.C.; Staples, C.R.; Thatcher, W.W.; Erickson, P.S.; Cleale, R.M.; Firkins, J.L.; Clark, J.H.; Murphy, M.R. and Brodie, B.O.** 1992b. Influence of diet composition, dry-matter intake, milk production and energy balance on time of post-partum ovulation and fertility in dairy cows. *Anim. Prod.* 54: 323-331.
117. **Lucy, M.C.; De La Sota, R.L.; Staples, C.R. and Thatcher, W.W.** 1993. Ovarian follicular populations in lactating dairy cows treated with recombinant bovine somatotropin (Sometribove) or saline and fed diets differing in fat content and energy. *J. Dairy Sci.* 76: 1014-1027.
118. **Lucy, M.C.** 2000. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *J. Dairy Sci.* 83: 1635-1647.
119. **Lucy, M.C.** 2003. Mechanisms linking nutrition and reproduction in postpartum cows. *Reproduction Supplement* 61: 415-427.
120. **Macmillan, K.L.; Lean, I.J. and Westwood, C.T.** 1996. The effects of lactation on the fertility of dairy cows. *Aust. Vet. J.* 73: 141-147.

121. **Madej, A.; Kindahl, H.; Woyno, W.; Edqvist, L.E. and Stupnick, R.** 1984. Blood levels of 15-keto-13,14-dihydro-prostaglandin F₂ α during the postpartum period in primiparous cows. *Theriogenology* 21: 279-287.
122. **Manston, R.; Russell, A.M.; Dew, S.M. and Payne, J.M.** 1975. The influence of dietary protein upon blood composition in dairy cows. *Vet. Rec.* 96: 497-502.
123. **Markus, S. B.; Wittenberg, K. M.; Ingalls, J.R.; Undi, M.** 1996. Production responses by early lactation cows to whole sunflower seed or tallow supplementation of a diet based on barley. *J. Dairy Sci.* 79: 1817-1825.
124. **Mashek, D.G.; Bertics, S.G. and Grummer, R.R.** 2002. Metabolic fate of long-chain unsaturated fatty acids and their effect on palmitic acid metabolism and gluconeogenesis in bovine hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 85: 2283-2289.
125. **Mattiauda, D.A.; Tamminga, S.; Elizondo, F. and Chilbroste, P.** 2003. Effect of the length and moment of the grazing session on milk production and composition of grazing dairy cows. *Trop. Subtrop. Ecosyst.* 3: 87-90.
126. **Mattos, R.; Staples, C.R. and Thatcher, W.W.** 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Rev. Reprod.* 5: 38-45.
127. **McCrae, C.H. and Muir, D.D.** 1995. Heat stability of milk. In: *Heat-induced changes in milk*. Ed: Fox, P.J. IDF Publication, 2nd edition. Bruselas, Bélgica. pp: 206-230.
128. **McDougall, S.; Burke, C.R.; Macmillan, K.L. and Williamson, N.B.** 1995. Patterns of follicular development during periods of anovulation in pasture-fed dairy cows after calving. *Res. Vet. Sci.* 58: 212-216.
129. **McGuffey, R.K. and Schingoethe, D.J.** 1982. Whole sunflower seeds for high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65: 1479-1483.
130. **McNamara, S.; Butler, T.; Ryan, D.P.; Mee, J.F.; Dillon, P.; O'Mara, F.P.; Butler, S.T.; Anglesey, D.; Rath, M. and Murphy, J.J.** 2003. Effect of offering rumen-protected fat supplements on fertility and performance in spring-calving Holstein-Friesian cows. *Anim. Reprod. Sci.* 79: 45-56.
131. **Meier, S.; Gore, P.; Minnee, E. and Thomson, N.** 2006. Supplementing mature cows with either cereal or lipid-based supplements has no effect on the post-partum anoestrous interval. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 66: 329-333.

132. **Meikle, A.; Kulcsár, M.; Chilliard, Y.; Febel, H.; Delavaud, C.; Cavestany, D. and Chilbroste, P.** 2004. Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction* 127: 727-737.
133. **Meikle, A.; Cavestany, D.; Ferraris, A.; Blanc, J.E.; Elizondo, F. and Chilbroste, P.** 2005. Efecto de la alimentación durante el período de transición sobre la primera ovulación posparto de vacas primíparas y multíparas. En: XXXIII Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, 9 al 11 de Junio de 2005. pp. 226-227.
134. **Merchen, N.R.** 1993. Digestion, absorption and excretion in ruminants. In: *The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition*. Ed: Church, D.C. Waveland Press, Prospect Heights, Illinois, USA, pp. 172-201.
135. **Moallem, U.; Kaim, M.; Folman, Y. and Sklan, D.** 1997. Effect of calcium soaps of fatty acids and administration of somatotropin in early lactation on productive and reproductive performance of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 2127-2136.
136. **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.
137. **Nestel, P.J.; Poyser, A.; Hood, R.L.; Mills, S.C.; Willis, M.R.; Cook, L.J. and Scott, T.W.** 1978. The effect of dietary fat supplements on cholesterol metabolism in ruminants. *J. Lipid Res.* 19: 899-909.
138. **NRC. National Research Council.** 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington D.C., USA. 381 p.
139. **Oldick, B.S.; Staples, C.R.; Thatcher, W.W. and Gyawu, P.** 1997. Abomasal infusion of glucose and fat-effect on digestion, production, and ovarian and uterine functions of cows. *J. Dairy Sci.* 80: 1315-1328.
140. **Ortiz, V.; Gómez Cabrera, A. y Mena, Y.** 1998. Utilización de la semilla de girasol (normal y alta en ácido oleico) en la alimentación de vacas lecheras. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim. (España)* 13: 5-12.

141. **Overton, T. R. and Waldron, M. R.** 2004. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87: (E: Suppl.): E105-E119.
142. **Palmquist, D.L. and Conrad, H.R.** 1978. High fat rations for dairy cows. Effects on feed intake, milk and fat production, and plasma metabolites. *J. Dairy Sci.* 61: 890-901.
143. **Palmquist, D.L. and Jenkins, T.C.** 1980. Fat in lactation rations: Review. *J. Dairy Sci.* 63: 1-14.
144. **Palmquist, D.L. and Moser, E.A.** 1981. Dietary fat effects on blood insulin, glucosa utilization, and milk protein content of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64: 1664-1670.
145. **Park, C.S.; Marx, G.D.; Moon, Y.S.; Wiesenborn, D.; Chang, K.C.S. and Hofman, V.L.** 1997. Alternatives uses of sunflower. In: *Sunflower Technology and Production*. Ed: Schneiter, A.A. Agronomy Series N° 35. Madison, Wisconsin, USA. pp. 765-807.
146. **Petit, H.V.; Dewhurst, R.J.; Scollan, N.D.; Proulx, J.G.; Khalid, M.; Haresign, W.; Twagiramungu, H. and Mann, G.E.** 2002. Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. *J. Dairy Sci.* 85: 889-899.
147. **Petit, H.V.** 2003. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed formaldehyde treated flaxseed or sunflower seed. *J. Dairy Sci.* 86: 2637-2646.
148. **Petit, H.V.; Germiquet, C. and Lebel, D.** 2004. Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 3889-3898.
149. **Petit, H.V. and Twagiramungu, H.** 2006. Conception rate and reproductive function of dairy cows fed different fat sources. *Theriogenology* 66: 1316-1324.
150. **Rabiee, A.R.; Lean, I.J.; Gooden, J.M. and Miller, B.G.** 1999. Relationships among metabolites influencing ovarian function in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 82: 39-44.

151. **Rafalowski, W. and Park, C. S.** 1982. Whole sunflower seeds as a fat supplement for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 65: 1484-1492.
152. **Rajamahendran, R. and Taylor, C.** 1990. Characterization of ovarian activity in postpartum dairy cows using ultrasound imaging and progesterone profiles. *Anim. Reprod. Sci.* 22: 171-180.
153. **Rajaram, S.; Baylink, D.J. and Mohan, S.** 1997. Insulin-like growth factor-binding proteins in serum and other biological fluids: Regulation and functions. *End. Rev.* 18: 801-831.
154. **Randel, R.D.; Del Vecchio, R.P.; Neuendorff, D.A. and Peterson, L.A.** 1988. Effect of alfaprostol on postpartum reproductive efficiency in Brahman cows and heifers. *Theriogenology* 29: 657-670.
155. **Rearte, D.H. y Santini, F.J.** 1989. Digestión ruminal y producción en animales en pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 9: 93-105.
156. **Rearte, D.H.; Santini, F.J.; García, P.T.; Maritano, M. y Elizalde, J.C.** 1989. Efectos de la suplementación de semilla de girasol sobre la producción y composición de la leche. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 9 (Supl. 1): 6-7.
157. **Rhodes, F.M.; McDougall, S.; Burke, C.R.; Verkerk, G.A. and Macmillan, K.L.** 2003. Invited review: treatment of cows with an extended postpartum anestrous interval. *J. Dairy Sci.* 86: 1876-1894.
158. **Robinson, R.S.; Pushpakumara, P.G.A.; Cheng, Z.; Peters, A.R.; Abayasekara, D.R.E. and Wathes, D.C.** 2002. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reproduction* 124: 119-131.
159. **Robinson, J.J.; Ashworth, C.J.; Rooke, J.A.; Mitchell, L.M. and McEvoy, T.G.** 2006. Nutrition and fertility in ruminant livestock. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126: 259-276.
160. **Roche, J.F.; Mackey, D. and Diskin, M.D.** 2000. Reproductive management of postpartum cows. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61: 703-712.
161. **Roche, J.F.** 2006. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Anim. Reprod. Sci.* 96: 282-296.
162. **Rowlands, G.J.; Manston, R.; Stark, A.J.; Russell, A.M.; Collis, K.A. and Collis, S.C.** 1980. Changes in albumin, globulin, glucose and cholesterol

- concentrations in the blood of dairy cows in late pregnancy and early lactation and relationships with subsequent fertility. *J. Agric. Sci.* 94: 517-527.
163. **Royal, M.D.; Pryce, J.E.; Woolliams, J.A. and Flint, A.P.F.** 2002. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85: 3071-3080.
 164. **Ryan, D.P.; Spoon, R.A. and Williams, G.L.** 1992. Ovarian follicular characteristics, embryo recovery, and embryo viability in heifers fed high-fat diets and treated with follicle-stimulating hormone. *J. Anim. Sci.* 1992. 70: 3505-3513.
 165. **Ryan, D.P.; Bao, B.; Griffith, M.K. and Williams, G.L.** 1995. Metabolic and luteal sequelae to heightened dietary fat intake in undernourished, anestrous beef cows induced to ovulate. *J. Anim. Sci.* 73: 2086-2093.
 166. **Salfer, J.A.; Linn, J.O.; Otterby, D.E. and Hansen, W.P.** 1995. Early lactation responses of Holstein cows fed a rumen-inert fat prepartum, postpartum, or both. *J. Dairy Sci.* 78: 368-377.
 167. **Sarrazin, P.; Mustafa, A.F.; Chouinard, P.Y.; Raghavan, G.S.V. and Sotocinal, S.A.** 2004. Performance of dairy cows fed roasted sunflower seed. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1179-1185.
 168. **Schingoethe, D.J.; Brouk, M.J.; Lightfield, K.D. and Baer, R.J.** 1996. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated fat from extruded soybeans or sunflower seeds. *J. Dairy Sci.* 79: 1244-1249.
 169. **Schori, F.; Fragnière, C.; Schaeren, W. et Stoll, W.** 2006. Graines de lin et de tournesol dans l'alimentation de la vache laitière. *Revue Suisse Agric.* 38: 25-30.
 170. **Schroeder, G.F.; Gagliostro, G.A.; Becu-Villalobos, D. and Lacau-Mengido, I.** 2002. Supplementation with partially hydrogenated oil in grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 85: 580-594.
 171. **Schroeder, G.F.; Gagliostro, G.A.; Bargo, F.; Delahoy, J.E. and Muller, L.D.** 2004. Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Liv. Prod. Sci.* 86: 1-18.

172. **Sharma, H.R.; White, B. and Ingalls, J.R.** 1986. Utilization of whole rape (canola) seed and sunflower seeds as sources of energy and protein in calf starter diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 15: 101-112.
173. **Sklan, D.; Moallem, U. and Folman, Y.** 1991. Effect of feeding calcium soaps of fatty acids on production and reproductive responses in high producing lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74: 510-517.
174. **Sklan, D.; Kaiy, M.; Moallem, U. and Folman, Y.** 1994. Effect of dietary calcium soaps on milk yield, body weight, reproductive hormones, and fertility in first parity and older cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1652-1660.
175. **Smith, M.C.A. and Wallace, J.M.** 1998. Influence of early post partum ovulation on the re-establishment of pregnancy in multiparous and primiparous dairy cattle. *Reprod. Fertil. Dev.* 10: 207-216.
176. **Sniffen, C.J.; D. O'Connor, J.J.D.; Van Soest, P.J.; Fox, D.G. and Russell, J.B.** 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70: 3562-3577
177. **Son, J. ; Grant, R.J. and Larson, L.L.** 1996. Effects of tallow and escape protein on lactational and reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79: 822-830.
178. **Spicer, L.J.; Echterkamp, S.E.; Canning, S.F. and Hammond, J.M.** 1988. Relationship between the concentration of immunoreactive insulin-like growth factor-I in follicular fluid and various biochemical markers of differentiation in bovine antral follicles. *Biol. Reprod.* 39: 573-580.
179. **Spicer, L.J.; Alpizar, E. and Echterkamp, S.E.** 1993a. 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.
180. **Spicer, L.J.; Vernon, R.K.; Tucker, W.E.; Wettemann, R.P.; Hogue, J.F. and Adams, O.D.** 1993b. Effects of inert fat on energy balance, plasma concentrations of hormones, and reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2664-2673.
181. **Spicer, L.J. and Stewart, R.E.** 1996. Interactions among basic fibroblast growth factor, epidermal growth factor, insulin, and insulin-like growth factor-I (IGF-I) on

- cell numbers and steroidogenesis of bovine thecal cells: role of IGF-I receptors. *Biol. Reprod.* 54: 255-263.
182. **Spicer, L.J.** 2004. Proteolytic degradation of insulin-like growth factor binding proteins by ovarian follicles: A control mechanism for selection of dominant follicles. *Biol. Reprod.* 70: 1223-1230.
 183. **Spielman, A. and Jones, I.R.** 1939. The reproductive efficiency of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 22: 329-334.
 184. **Stanko, R.L.; Fajersson, P.; Carver, L.A. and Williams, G.L.** 1997. Follicular growth and metabolic changes in beef heifers fed incremental amounts of polyunsaturated fat. *J. Anim. Sci.* 75 (Suppl. 1): 223 (Abstr.).
 185. **Staples, C.R.; Burke, J.M. and Thatcher, W.W.** 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81: 856-871.
 186. **Staples, C.R.; Wiltbank, M.C.; Grummer, R.R.; Guenther, J.; Sartori, R.; Diaz, F.J.; Bertics, S.; Mattos, R. and Thatcher, W.W.** 2000. Effect of long chain fatty acids on lactation performance and reproductive tissues of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* (Suppl. 1): p. 278 (abstract).
 187. **Stegeman, O.A.; Casper, D.P.; Schingoethe, D.J. and Baer, R.J.** 1992. Lactational responses of dairy cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 75: 1936-1945.
 188. **Stoll, W.; Sollberger, H.; Collomb, M. and Schaeren, W.** 2003. Graines de colza, de lin et de tournesol dans l'alimentation de la vache laitière. *Revue suisse Agric.* 35: 213-218.
 189. **Storry, J.E.; Brumby, P.E.; Tuckley, B.; Welch, V.A.; Stead, D. and Fulford, R.J.** 1980. Effect of feeding protected lipid to dairy cows in early lactation on the composition of blood lipoproteins and secretion of fatty acids in milk. *J. Agric. Sci.* 94: 503-516.
 190. **Thatcher, W.W. and Wilcox, C.J.** 1973. Postpartum estrus as an indicator of reproductive status in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 56: 608-610.

191. **Thatcher, W.W.; Bartolome, J.A.; Sozzi, A.; Silvestre, F. and Santos, J.E.P.** 2004. Manipulation of ovarian function for the reproductive management of dairy cows. *Vet. Res. Comm.* 28: 111-119.
192. **Thatcher, W.W.; Bilby, T.R.; Bartolome, J.A.; Silvestre, F.; Staples, C.R. and Santos, J.E.P.** 2006. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology* 65: 30-44.
193. **Thomas, M.G. and Williams, G.L.** 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.
194. **Thomas, M.G.; Bao, B. and Williams, G.L.** 1997. Dietary fats varying in their fatty acid composition differentially influence follicular growth in cows fed isoenergetic diets. *J. Anim. Sci.* 75: 2512-2519.
195. **Tilley, J.M.A. and Terry, R.A.** 1963. A two-step technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grass. Soc.* 18: 104-111.
196. **Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A.** 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
197. **Villeneuve, P. ; Dufour, J.J. and Guilbault, L.A.** 1988. Influence of infusion of prostaglandin F₂ α (PF₂ α) and weaning on surface and histologic populations of ovarian follicles in early postpartum beef cows. *J. Anim. Sci.* 66: 3174-3184.
198. **Viñoles, C.; Forsberg, M.; Martin, G.B.; Cajarville, C.; Repetto, J. and Meikle, A.** 2005. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition affects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. *Reproduction* 129: 299-309.
199. **Webb, S.M.; Lewis, A.W.; Neuendorff, D.A. and Randel, R.D.** 2001. Effects of dietary rice bran, lasalocid, and sex of calf on postpartum reproduction in Brahman cows. *J. Anim. Sci.* 2001. 79: 2968-2974.
200. **Wehrman, M.E.; Welsh, T.H. and 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: 514-522.
201. **West, J.W. and Hill, G.M.** 1990. Effect of a protected fat product on productivity of lactating Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 73: 3200-3207.
 202. **Westwood, C.T.; Lean, I.J. and Garvin, J.K.** 2002. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: A multivariate description. *J. Dairy Sci.* 85: 3225-3237.
 203. **Whitaker, D.A.** 2004. Metabolic profiles. In: *Bovine Medicine: Diseases and Husbandry of Cattle*. Eds: Andrews, A.H., Blowey, R.W., Boyd, H., Eddy, R.G. (Eds.). Blackwell Publishing, Oxford, UK. pp. 804-817.
 204. **White, B.G.; Ingalls, J.R. and Sharma, H.R.** 1987. The addition of whole sunflower seeds and sodium bicarbonate to fat depressing diets for lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 437-445.
 205. **Williams, G.L.** 1989. Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipid. *J. Anim. Sci.* 67: 785-793.
 206. **Williams, G. L. and Stanko, R.L.** 1999. Dietary fats as reproductive nutraceuticals in beef cattle. *J. Anim. Sci.* Disponible en URL:
<http://www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0915.pdf>.
Consulta: 19 de agosto de 2006
 207. **Wu, Z. and Huber, J.T.** 1994. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: a review. *Liv. Prod. Sci.* 39: 141-155.
 208. **Wyss, U. and Collomb, M.** 2006. Graines de tournesol comme complément à l'herbe: influence sur la composition de la graisse du lait. *Revue Suisse Agric.* 38: 16-20.

ANEXOS

ANEXO 1. RESUMEN DE EXPERIMENTOS QUE EVALUARON LOS EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON LÍPIDOS SOBRE LA DINÁMICA FOLICULAR Y EL REINICIO DE LA CICLICIDAD OVÁRICA POSPARTO DE HEMBRAS BOVINAS

| Referencia ¹ | Tratamiento | dieta base | % en dieta (base seca) | | | Isocal / isonit ² | Animales | | Reinicio ciclicidad posparto ⁴ | Tamaño folículo dominante ⁴ | Nº folículos ⁴ |
|-------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------|---------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------------|
| | | | Extracto al éter | Fuente de lípidos | Forraje | | Número y tipo | Estado fisiológico ³ | | | |
| 7 | harina de soja | Heno | 2,0 | 0 | 96 | N/S | 144 vacas de cría L2 ⁵ | gestación | 0 | 0 | 0 |
| | cáscara de soja | | 2,0 | 0 | 85 | | | | | | |
| | semilla de soja | | 5,7 | 8,4 | 92 | | | | | | |
| | control | | 3,3 | 0 | 75 | | | | | | |
| 11 | sebo + grasa de freiduría | TMR ⁶ | 5,2 | 2,2 | 75 | N/S | 45 vacas lecheras L2 | lactancia | ↑ | ↑ | ↑ |
| | sebo + grasa de freiduría | | 7,1 | 4,4 | 75 | | | | | | |
| 12 | control | TMR | 4,8 | 0 | 45 | N/S | 42 vacas lecheras L2 | lactancia | 0 | 0 | 0 |
| | lípidos inertes | | 7,0 | 2,6 | 44 | | | | | | |
| | control | | 2,4 | 0 | 87 | | | | | | |
| 16 (I) | semilla de cártamo | Ensilaje de maíz | 4,7 | 5,5 | 86 | S/N | 152 vacas de cría L1 | gestación | 0 | S/D ⁷ | S/D |
| | semilla de soja | | 3,8 | 8,0 | 92 | | | | | | |
| | semilla de girasol | | 5,1 | 5,2 | 85 | | | | | | |
| (II) | control | Ensilaje de maíz | 2,2 | 0 | 95 | S/S | 83 vacas de cría L1 | gestación | 0 | S/D | S/D |
| | semilla de girasol | | 6,3 | 5,0 | 94 | | | | | | |
| 21 | control | TMR / pastura | 4,0 | 0 | 34 | N/N | 36 vacas lecheras L2 | lactancia | ↑ | 0 | 0 |
| | subproducto soja | | S/D | S/D | S/D | | | | | | |
| | control | | 3,9 | 0 | 64 | | | | | | |
| 31 (I) | semilla de algodón | Ensilaje de maíz | 4,3 | 8,6 | 64 | S/S | 48 vacas de cría L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | semilla de algodón | | 5,3 | 17,2 | 64 | | | | | | |
| | semilla de algodón | | 6,3 | 25,9 | 64 | | | | | | |
| (II) | control | Ensilaje de maíz | 3,1 | 0 | 91 | S/S | 66 vacas de cría L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | semilla de algodón | | 5,5 | 16,1 | 73 | | | | | | |
| | semilla de algodón | | 8,1 | 35,1 | 58 | | | | | | |
| 33 | control | TMR | 3,4 | 0 | 65 | N/N | 46 vacas lecheras L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | lípidos inertes | | 7,0 | 4,8 | 64 | | | | | | |
| 54 | control | Heno | 3,7 | 0 | 57 | S/S | 40 vacas de cría | lactancia | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------------|-----|--------------------|-----|-----|--------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
| | afrechillo de arroz | | 5,2 | 9,0 | 56 | | L2 | | 0 | ↑ | ↑ |
| 55 | control semilla de soja | Ensilaje de maíz | 2,5 | 0 | 50 | S/N | 42 vacas lecheras L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| 66 | control sales de Ca de ácidos grasos | Campo natural | S/D | 0 | S/D | N/S | 134 vacas de cría L2 | gestación y lactancia | ↑ | S/D | S/D |
| 68 | control lípidos (X) | Heno | S/D | 0 | S/D | N/N | 20 vacas de cría L1 | gestación | 0 | S/D | S/D |
| | lípidos (2X) | | S/D | S/D | S/D | | | | 0 | S/D | S/D |
| 69 | control sales de Ca de ácidos grasos | Heno | S/D | 0 | S/D | S/N | 39 vacas de cría L1 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| 77 | control sales de Ca de ácidos grasos | TMR | 4,7 | 0 | 48 | N/S | 45 vacas lecheras L2 | lactancia | ↑ | 0 | 0 |
| 89 | control sales de Ca de ácidos grasos | Heno | S/D | 0 | S/D | S/S | 12 vacas de cría L2 | lactancia | S/D | S/D | ↑ |
| | | | S/D | 0,5% de peso vivo | S/D | | | | | | |
| 97 | control semilla de girasol | Heno | S/D | S/D | S/D | N/S | 269 vacas de cría L2 | gestación y lactancia | ↓ | S/D | S/D |
| 107 | control afrechillo de arroz | Heno | 3,7 | 0 | 57 | S/S | 25 vacas de cría L1 | gestación y lactancia | 0 | ↑ | ↑ |
| | afrechillo de arroz | | 6,6 | 17,1 | 55 | | | | 0 | 0 | ↑ |
| 108 | control afrechillo de arroz | Heno | 3,7 | 0 | 57 | S/S | 19 vacas de cría L2 | vacías | S/D | 0 | ↑ |
| 114 | control sales de Ca de ácidos grasos | TMR | S/D | 0 | 43 | S/N | 18 vacas lecheras L2 | lactancia | S/D | ↑ | ↑ |
| 117 | control sales de Ca de ácidos grasos | TMR | S/D | 2,2 | 42 | S/N | 18 vacas lecheras L1+L2 | lactancia | S/D | ↑ | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos | | 7,2 | 2,2 | 51 | | | | S/D | 0 | S/D |
| 130 | control sales de Ca de ácidos grasos | TMR | S/D | 0 | 82 | N/N | 201 vacas lecheras L1+L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos protegidos | | S/D | 0,08% de peso vivo | 82 | | | | ↑ | S/D | S/D |
| 131 | control cereales | pastura | S/D | S/D | S/D | S/N | 45 vacas lecheras L1+L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | lípidos | | S/D | S/D | S/D | | | | 0 | S/D | S/D |
| 135 | control sales de Ca de ácidos grasos | TMR | S/D | 0 | 40 | S/S | 48 vacas lecheras L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | | | S/D | 0,5 kg/día | 40 | | | | 0 | S/D | S/D |
| 139 | control | TMR | S/D | 0 | 52 | N/S | 4 vacas lecheras | lactancia | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
| | sebo | | S/D | 1,9 | 52 | | L2 | | S/D | 0 | 0 |
| | grasa de freiduría | | S/D | 2,1 | 52 | | | | S/D | ↑ | 0 |
| | control | | 3,6 | 0 | 52 | | | | | | |
| 148 | sales de Ca de ácidos grasos | TMR | 6,2 | 4,6 | 56 | S/N | 4 vacas lecheras L2 | lactancia | S/D | 0 | 0 |
| | semilla de lino | | 6,6 | 9,7 | 53 | | | | S/D | 0 | ↓ |
| | semilla de girasol | | 6,7 | 9,6 | 55 | | | | S/D | 0 | ↓ |
| | control | | 2,7 | 0 | 41 | | | | | | |
| 158 | producto base lino | TMR | 5,0 | 1,3 | 41 | S/N | 22 vacas lecheras L1 | lactancia | S/D | ↑ | ↑ |
| | producto base soja | | 5,0 | 2,8 | 41 | | | | S/D | ↑ | ↑ |
| 164 | control | TMR | S/D | 0 | 25 | S/S | 55 vacas de cría | vacías | S/D | S/D | ↑ |
| | aceite de soja | | S/D | 5,3 | 41 | | L1 | | S/D | S/D | ↑ |
| | control | | 3,1 | 0 | 53 | | | | | | |
| 166 | sebo | TMR | 4,5 | 1,5 | 53 | N/S | 63 vacas lecheras L1+L2 | gestación y lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | sebo | | 4,0 | 1,0 | 53 | | | gestación y lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | sebo | | 4,5 | 1,5 | 53 | | | gestación y lactancia | 0 | S/D | S/D |
| 173 | control | TMR | S/D | 0 | 25 | N/S | 126 vacas lecheras L2 | lactancia | ↓ | S/D | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos | | S/D | 2,6 | 25 | | | | | | |
| 177 | control | TMR | S/D | 0 | 49 | S/S | 68 vacas lecheras L1+L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | sebo | | S/D | 3 | 65 | | | | | | |
| 180 | control | TMR | S/D | 0 | 39 | S/S | 14 vacas lecheras L2 | lactancia | 0 | S/D | S/D |
| | sales de Ca de AG | | S/D | 1,8 | 39 | | | | | | |
| 184 | control | TMR | 0 | S/D | S/D | S/S | 40 vacas de cría L1 | vacías | S/D | S/D | 0 |
| | lípidos insaturados | | 1,4 | S/D | S/D | | | | S/D | S/D | 0 |
| | lípidos insaturados | | 2,9 | S/D | S/D | | | | S/D | S/D | ↑ |
| | lípidos insaturados | | 4,2 | S/D | S/D | | | | S/D | S/D | ↑ |
| 186 | control | TMR | S/D | 0 | S/D | N/N | 29 vacas lecheras L2 | lactancia | S/D | ↑ | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos (alto oleico) | | S/D | 2,2 | S/D | | | | S/D | 0 | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos (alto linoleico) | | S/D | 2,2 | S/D | | | | S/D | ↑ | S/D |
| | sales de Ca de ácidos grasos (alto EPA+DHA ⁸) | | S/D | 2,2 | S/D | | | | S/D | ↑ | S/D |
| 193 | control | TMR | S/D | 0 | 56 | S/S | 21 vacas de cría L1 | vacías | S/D | 0 | ↑ |
| | aceite de soja | | S/D | 4,0 | 64 | | | | S/D | 0 | ↑ |
| | sebo | | S/D | 4,0 | 64 | | | | S/D | 0 | ↑ |
| 194 | control | TMR | S/D | 0 | S/D | S/S | 27 vacas de cría L2 | vacías | S/D | S/D | 0 |
| | sebo | | 4,0 | 4,0 | S/D | | | | S/D | S/D | 0 |
| | aceite de soja | | 4,0 | 4,0 | S/D | | | | S/D | S/D | ↑ |

| | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|----------------------------|-----------|-----|-----|-----|
| | aceite de pescado | | 4,0 | 4,0 | S/D | | | | S/D | S/D | 0 |
| 199 | control afrechillo de arroz | Heno | 3,7 | 0 | 57 | S/S | 68 vacas de cría L2 | lactancia | ↑ | S/D | 0 |
| 200 (I) | control semilla de algodón | Heno | 2,5 | 0 | 84 | S/S | 13 vacas de cría L2 | lactancia | S/D | S/D | ↑ |
| (II) | control semilla de algodón | Heno | 2,2 | 0 | 47 | S/S | 13 vacas de cría L1 | vacías | S/D | S/D | 0 |
| (III) | control semilla de algodón | Campo natural | S/D | 0 | S/D | S/S | 183 vacas de cría L1+L2 | lactancia | ↑ | S/D | S/D |
| 205 | control semilla de algodón | Heno | 0 | 0 | S/D | S/S | 32 vacas de cría L1+L2 | lactancia | ↑ | S/D | S/D |

¹Número de referencia bibliográfica (ver capítulo 7). El número romano entre paréntesis indica el número de experimento (solo cuando el trabajo publicado refiere a más de un experimento).

²Dietas isocalóricas o isonitrogenadas entre sí (S = sí, N = no).

³Momento en que comenzaron a aplicarse los tratamientos.

⁴Respuesta a la suplementación con lípidos: 0 = sin efecto, ↑ = aumento, ↓ = disminución, S/D = sin dato (en la variable reinicio de ciclicidad ovárica, ↑ implica que la suplementación con lípidos aceleró el mismo).

⁵L1 = vacas primíparas, L2 = vacas múltiparas.

⁶Dietas completamente mezcladas.

⁷Sin información.

⁸EPA = ácido eicosapentanoico, DHA = ácido docosahexanoico.

ANEXO 2. RESUMEN DE EXPERIMENTOS QUE EVALUARON LOS EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON SEMILLA DE GIRASOL SOBRE EL CONSUMO, LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE DE VACAS

| Referencia ¹ | Tratamiento | Dieta base | % en dieta (base seca) | | | | Proces. ² | Isocal / isonit ³ | n ⁴ | Etapa lactancia ⁵ | Consumo (kg MS) | Leche | | Grasa | | Proteína | | Lactosa | | Δ peso (kg/día) |
|-------------------------|--|------------------|------------------------|--------------------|---------|---------|----------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------|---------|--------|-------|-------|----------|------|---------|------------------|-----------------|
| | | | extracto al éter | fuerite de lípidos | forraje | lipidos | | | | | | (L/día) | kg | % | kg | % | kg | % | kg | |
| | harina de pescado+grasa alto ácido esteárico | | 4,4 | 0 | 50 | | | | | | 22,3 | 31,7 | 3,10a | 0,99a | 3,00 | 0,95 | 4,96 | 1,57 | S/I ⁷ | |
| 2 | semilla de lino | TMR ⁶ | 4,1 | 0 | 50 | | S/N | 4 | temprana | 22,0 | 29,6 | 3,09a | 0,91a | 3,04 | 0,89 | 4,99 | 1,48 | S/I | | |
| | semilla de girasol alto ácido oleico | | 4,2 | 4,6 | 50 | | | | partida | 21,8 | 31,5 | 2,74b | 0,86ab | 3,01 | 0,94 | 5,00 | 1,58 | S/I | | |
| | semilla de girasol alto ácido linoleico | | 4,2 | 4,3 | 50 | | | | partida | 22,3 | 28,9 | 3,64b | 0,77b | 3,12 | 0,89 | 4,94 | 1,43 | S/I | | |
| 5 | semilla de lino | TMR | 7,2 | 9,0 | 41 | | S/N | 121 | temprana | 22,5a | 36,7 | 3,69 | 1,33 | 3,01 | 1,09 | S/I | S/I | S/I | | |
| | semilla de girasol | | 7,2 | 8,7 | 41 | | | | rolada | 21,3b | 36,0 | 3,37 | 1,20 | 2,97 | 1,06 | S/I | S/I | S/I | | |
| 6 | semilla de algodón | | 4,3 | 0 | 40 | | | | | 20,2b | 23,9a | 3,14a | 0,74a | 3,17b | 0,75a | S/I | S/I | 0,10 | | |
| | semilla de soja | TMR | 2,6 | 0 | 40 | | S/S | 21 | media | 21,4a | 24,8a | 2,80b | 0,68b | 3,17b | 0,77a | S/I | S/I | 0,12 | | |
| | semilla de girasol | | 7,8 | 12,0 | 40 | | | | entera | 19,3c | 21,8b | 2,86b | 0,61c | 3,29a | 0,71b | S/I | S/I | 0,15 | | |
| 17 | control | TMR | S/I | S/I | S/I | | N/N | 96 | temprana | S/I | S/I | 3,10 | S/I | 2,90a | S/I | S/I | S/I | S/I | | |
| | semilla de girasol | | S/I | S/I | S/I | | | | | S/I | S/I | 3,10 | S/I | 2,80b | S/I | S/I | S/I | S/I | | |
| 32 | lipidos protegidos alto EPA+DHA8 | TMR | 7,7 | 0 | 54 | | S/N | 59 | temprana | 25,5 | 42,4 | 4,16 | 1,74 | 3,11 | 1,30 | 4,92 | 2,08 | S/I | | |
| | semilla de girasol | | 8,6 | 10 | 48 | | | | entera | 26,5 | 42,7 | 4,06 | 1,69 | 3,17 | 1,32 | 4,94 | 2,08 | S/I | | |
| 34 | control | | 1,6 | 0 | 55 | | | | | 22,8 | 27,9 | 3,14a | S/I | 3,00 | S/I | S/I | S/I | -0,003 | | |
| | semilla de girasol alto C 18:1 | TMR | 5,8 | 9,0 | 55 | | N/S | 10 | media | 20,6 | 25,4 | 2,43b | S/I | 3,24 | S/I | S/I | S/I | 0,23 | | |
| | semilla de girasol alto C 18:2 | | 4,9 | 9,0 | 55 | | | | rolada | 21,9 | 28,8 | 2,92a | S/I | 3,03 | S/I | S/I | S/I | 0,17 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|-----|----|----------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 50 | control semilla de girasol semilla de girasol | 2,6 4,6 5,5 | 0 4,5 6,2 | 59 67 65 | molida molida | S/N | 33 | media | 21,1 20,9 20,4 | 30,3 29,6 27,7 | 4,02 4,13 3,69 | S/I S/I S/I | 3,35 3,38 3,26 | S/I S/I S/I | 4,90 4,92 4,92 | S/I S/I S/I |
| 53 | semilla de soja semilla de girasol | 5,2 5,1 | 0 7,2 | 50 50 | entera | S/S | 8 | media | 23,3a 21,4b | 32,9 32,0 | 3,39a 3,07b | 1,11 0,97 | 3,20 3,22 | 1,05 1,00 | 4,43 4,33 | 1,46 1,39 |
| 59 | control semilla de girasol+soja | 2,6 6,0 | 0 9,2 | 57 57 | entera | N/S | 30 | temprana | 21,7 21,7 | 33,6 33,8 | 3,55a 3,30b | S/I S/I | 2,91a 2,74b | S/I S/I | S/I S/I | 0,09 -0,05 |
| 70 | control semilla de girasol semilla de girasol+caliza | 3,0 6,6 5,9 | 0 9,7 9,7 | 56 65 56 | entera rolada rolada | N/S | 30 | temprana | 21,0a 18,4c 20,0b | 32,2 32,0 32,8 | 3,57a 3,18b 3,51b | 1,15 1,02 1,15 | 3,01 2,97 2,90 | 0,97 0,95 0,95 | S/I S/I S/I | -0,10 -0,02 0,09 |
| 74 | control semilla de girasol | 2,5 7,5 | 0 13,8 | 75 75 | molida | S/S | 30 | media | 19,9a 14,5b | 19,2a 17,0b | 3,44 3,49 | S/I S/I | 3,44 3,39 | S/I S/I | S/I S/I | 0,13 -0,02 |
| 87 | control semilla de girasol | 4,0 6,0 | 0 7,0 | 49 49 | entera | N/S | 25 | temprana | 20,5 20,2 | 38,2 38,2 | 3,52 3,45 | 1,33 1,37 | 2,82 2,81 | 1,03 1,14 | 4,65 4,65 | 1,69 1,91 |
| 123 | control semilla de girasol sebo | 1,8 4,2 4,1 | 0 7,1 0 | 36 34 43 | entera | N/S | 49 | temprana | 22,2 21,1 21,6 | 34,4 34,6 35,5 | 3,20 3,10 3,30 | 1,10 1,07 1,17 | 3,10 3,00 3,00 | 1,07 1,04 1,07 | S/I S/I S/I | 0,3 0,4 0,3 |
| 129 | control semilla de girasol semilla de girasol | 2,8 5,5 5,5 | 0 9,9 9,9 | 55 55 55 | entera rolada extrusada | N/S | 9 | temprana | 23,4 23,0 22,8 | 30,6 32,1 31,3 | 3,56 3,46 3,39 | 1,09 1,11 1,06 | 3,21 3,10 3,10 | 0,98 1,00 0,97 | S/I S/I S/I | -0,12 0,20 0,08 |
| 140 (I) | control semilla de girasol | 5,1 8,1 | 0 6,8 | S/I S/I | S/I | S/S | 14 | media | S/D S/D | 27,1 26,7 | 3,56 3,46 | S/I S/I | 2,97 2,99 | S/I S/I | 4,74 4,73 | S/I S/I |
| (II) | control semilla de girasol | 4,9 8,2 | 0 13,0 | S/I S/I | S/I | S/S | 16 | tardia | S/D S/D | 26,3 25,0 | 3,71a 3,40b | S/I S/I | 3,24 3,20 | S/I S/I | 4,83 4,78 | S/I S/I |
| 147 | semilla de lino semilla de girasol | 6,6 7,8 | 0 15,5 | 52 51 | entera | N/S | 4 | media | 20,2a 18,9b | 23,7 24,4 | 4,28 4,42 | 0,98 1,05 | 3,38a 3,21b | 0,78 0,77 | 4,43 4,51 | 1,04 1,08 |
| 148 | control sales de Ca de ácidos grasos semilla de lino semilla de girasol | 3,6 6,2 6,6 6,7 | 0 0 0 9,6 | 52 56 53 55 | entera | S/S | 4 | temprana | 23,8 21,2 21,1 20,7 | 24,8a 31,5a 32,1a 25,9b | 3,49 3,35 3,63 3,30 | 0,85b 1,05ab 1,14 ^a 0,88ab | 3,92a 3,68c 3,87ab 3,74bc | 0,97b 1,21a 1,22a 0,97b | S/I S/I S/I S/I | S/I S/I S/I S/I |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------|---------|-----|------|-----|-------------------|-----|------|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 151 | control | 3,1 | 0 | 47 | | | | 15,6 | 25,4b | 3,32 | 0,84 | 3,14 | 0,80 | S/I | S/I | 0,37 |
| | semilla de girasol | TMR | 4,2 | 4,5 | 55 | entera | S/S | 16 | temprana | 3,48 | 1,00 | 3,19 | 0,92 | S/I | S/I | 0,37 |
| | semilla de girasol | | 4,9 | 7,3 | 64 | entera | | | | 3,50 | 0,94 | 3,14 | 0,84 | S/I | S/I | 0,34 |
| | semilla de girasol | | 6,3 | 11,7 | 64 | entera | | | | 3,30 | 0,88 | 3,18 | 0,85 | S/I | S/I | 0,29 |
| 155 | control | pastura | 3,3 | 0 | S/I | | S/I | 16 | media | 3,25 | 0,82 | 3,29a | 0,83 | 4,38 | S/I | S/I |
| | semilla de girasol | | 6,3 | 10,6 | S/I | | | | | 3,17 | 0,80 | 3,23b | 0,81 | 4,36 | S/I | S/I |
| 167 | control | | 3,0 | 0 | 50 | | | | | 3,35a | 1,47a | 2,92 | 1,27 | 4,74 | 2,06 | S/I |
| | semilla de girasol | TMR | 5,8 | 7,8 | 50 | partida | N/S | 9 | temprana | 3,07b | 1,32b | 2,91 | 1,26 | 4,72 | 2,04 | S/I |
| | semilla de girasol | | 5,8 | 7,8 | 50 | partida y tostada | | | | 3,07b | 1,34b | 2,91 | 1,26 | 4,72 | 2,06 | S/I |
| 168 | control | | 2,4 | 0 | 50 | | | | | 3,22b | 1,03 | 2,98 | 0,96b | 4,71 | 1,52b | S/I |
| | semilla de soja | TMR | 6,1 | 0 | 50 | | N/S | 9 | temprana | 3,30 | 1,16 | 2,92 | 1,02a | 4,79 | 1,69a | S/I |
| | semilla de girasol | | 6,1 | 7,5 | 50 | rolada | | | | 3,06 | 1,07 | 3,00 | 1,05a | 4,79 | 1,68a | S/I |
| 169 | semilla de lino | pastura | 4,1 | 0 | 67 | | S/S | 33 | temprana | 4,53 | 1,34 | 3,34 | 0,99 | 5,02 | S/I | S/I |
| | semilla de girasol | | 4,3 | 4,2 | 68 | molido | | | | 4,34 | 1,34 | 3,16 | 0,98 | 4,97 | S/I | S/I |
| 208 | control | | 3,0 | 0 | 87 | | | | | 4,23 | S/I | 3,52 | S/I | S/I | S/I | S/I |
| | semilla de girasol | pastura | 5,5 | 5,1 | 82 | molido | N/N | 18 | media | 4,02 | S/I | 3,59 | S/I | S/I | S/I | S/I |
| | semilla de girasol | | 5,9 | 5,9 | 84 | molido | | | | 3,93 | S/I | 3,38 | S/I | S/I | S/I | S/I |

¹Número de referencia bibliográfica (ver capítulo 7). El número romano entre paréntesis indica el número de experimento (solo cuando el trabajo publicado

refiere a más de un experimento).

²Tipo de procesamiento de la semilla de girasol.

³Dieta isocalórica o isonitrogenada entre sí (S = sí, N = no).

⁴Número de animales en todo el experimento.

⁵Momento en que comenzaron a aplicarse los tratamientos.

⁶Dieta completamente mezclada.

⁷Sin información

⁸EPA = ácido eicosapentanoico, DHA = ácido docosahexanoico.

PUBLICACIÓN