

## La Condición Corporal Como Herramienta Para Pronosticar el Potencial Reproductivo en Hembras Bovinas de Carne

Body Condition Score as Tool to Predict the Reproductive Potential of Beef Cows

Adriana Correa-Orozco<sup>1</sup> y Luis Fernando Uribe-Velásquez<sup>2</sup>

**Resumen.** El objetivo de esta revisión es describir el efecto de la condición corporal (CC) sobre el desempeño reproductivo y la función endocrina en vacas de carne. Los intervalos parto al primer estro y ovulación, intervalos desde el parto a la actividad luteal normal y a la concepción son más cortos en vacas con CC moderada cuando son comparados con vacas delgadas. El tamaño del folículo dominante al primer estro es más grande y la tasa de preñez es mayor para vacas con condición moderada en comparación con vacas delgadas. Además, han sido estudiados los efectos de la CC sobre la secreción de hormona luteinizante, estradiol, leptina, insulina y factor de crecimiento semejante a la insulina I (IGF-I). El programa para inducción de la ovulación puede aumentar la tasa de preñez en vacas de carne con CC pobre. Sin embargo, la eficacia del protocolo para inducir el estro y la ovulación es dependiente de la CC. En conclusión, la CC es un indicador útil del estado de energía y potencial reproductivo, por sus efectos sobre la dinámica folicular, actividad ovárica, función endocrina y tasa de preñez en vacas de carne.

**Palabras clave:** Actividad ovárica, dinámica folicular, ganado de carne, reproducción, sincronización del estro.

**Abstract.** The objective of this review is to describe the effect of body condition score (BCS) on reproductive performance and endocrine function of beef cows. Interval to first estrus and ovulation, interval from parturition to normal luteal activity and to conception are shorter for moderate body condition cows than thin cows. Size of the dominant follicle at the first estrus is larger and pregnancy rate is greater for moderate condition cows as compared with thin cows. In addition has been studied to effects of BCS on secretion of luteinizing hormone, estradiol, leptin, insulin and insulin-like growth factor I (IGF-I). The program for induction of ovulation can increase the pregnancy rate in beef cows in poor body condition. However, the effectiveness of the protocol for inducing estrus and ovulation is dependent on body condition. In conclusion, the BCS is a useful indicator of energy status and breeding potential, because of the effect on follicular dynamic, ovarian activity, endocrine function and pregnancy rate in beef cows.

**Key words:** Beef cattle, estrous synchronization, follicular dynamic, ovarian activity, reproduction.

Debido a la creciente necesidad de una mayor producción de carne para suplir las insuficiencias alimenticias de la población mundial, se requiere conocer los diferentes factores que afectan el desempeño reproductivo de los animales, lo cual permite mejorar la eficiencia productiva. En Colombia, el ganado de carne obtiene sus requerimientos nutricionales principalmente a través del pastoreo, por lo cual la oferta forrajera a lo largo del año juega un papel muy importante en el estado nutricional de los animales. En las épocas de escasez de alimento, si coinciden con el pre o el postparto, las vacas pueden llegar a un balance energético negativo, razón por la cual disminuyen sus reservas energéticas. Esto tiene un impacto importante en el éxito de la preñez ya que numerosos autores como Selk *et al.* (1988);

Houghton *et al.* (1990); DeRouen *et al.* (1994); Lalman *et al.* (1997); Sinclair *et al.* (2002); Looper, Lents y Wettermann (2003); Wettemann *et al.* (2003) y Lents *et al.* (2008) reportaron que la condición corporal (CC) afecta el desempeño reproductivo en hembras bovinas de carne. No obstante, son escasos los estudios realizados sobre el tema en el país.

El efecto de la nutrición sobre algunos parámetros reproductivos es ampliamente reconocido, aunque ello no está exento de polémica y algunos puntos a aclarar. La evaluación de la CC como reflejo del estado nutricional de los animales (Dunn y Moss, 1992; Jones y Lamb, 2008), permite determinar su influencia en el potencial reproductivo, especialmente sobre la secreción de gonadotropinas, la concentración

<sup>1</sup> Joven Investigadora de COLCIENCIAS. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Maestría en Ciencias Veterinarias. Calle 65 No. 26-10. Manizales, Colombia. <adriana.2230821488@ucaldas.edu.co>

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Calle 65 No. 26-10. Manizales, Colombia. <luribe@ucaldas.edu.co>

Recibido: Abril 19 de 2010; Aceptado: Octubre 19 de 2010.

plasmática de progesterona, la función ovárica, la calidad del oocito y del embrión (Boland, Lonergan y O'callaghan, 2000), así como también, sobre la involución uterina y la tasa de concepción (Roche, 2006). De esta manera, las reservas de energía al momento del parto son el factor con mayor efecto sobre la tasa de preñez (Wettemann *et al.*, 2003), ya que en ganado de carne si éstas se encuentran reducidas se hace más notable la supresión de la función ovárica en el periodo posparto temprano (Richards *et al.*, 1991; Montiel y Ahuja, 2005), con incremento del intervalo parto-primer estro y bajas tasas de concepción (Wagner *et al.*, 1988).

Dentro de los factores que afectan el desempeño reproductivo en la ganadería de carne en Colombia, se pueden mencionar la alta incidencia de anestro posparto que incrementa el intervalo parto – concepción y el intervalo entre partos, la pobre nutrición que reduce la fertilidad, las enfermedades infecciosas, el amamantamiento y la detección del estro, entre otros. Asimismo, existe una escasa transferencia de técnicas reproductivas como la congelación de semen, la inseminación artificial y la transferencia de embriones, que podrían ayudar a hacer más eficiente la producción. En este sentido, en el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (FEDEGAN, 2006), el fomento a la innovación por parte del productor es de primera importancia, como estrategia orientada a facilitar el proceso de transferencia del conocimiento para convertirlo en aplicaciones prácticas en la finca. Este Plan Estratégico también considera debilidades de la ganadería, como la insuficiente transferencia de tecnología, los bajos índices de productividad, la baja eficiencia reproductiva y el incipiente desarrollo de programas de mejoramiento genético.

Con la identificación de los problemas, la elaboración de investigaciones sobre las variables que afectan la reproducción en el ganado de carne en condiciones tropicales y la posterior ejecución de propuestas con los productores, que permitan mejorar el desempeño reproductivo, FEDEGAN pretende para el año 2019, en la cadena cárnica, lo siguiente: 1) incrementar el hato nacional bovino a 48.000.000 de cabezas; 2) alcanzar un sacrificio anual de 9.600.000 cabezas con una tasa de extracción del 20%; 3) aumentar el consumo de carne a 30 kg por habitante año; y 5) exportar 50.000 toneladas anuales de carne con valor agregado y 400.000 toneladas anuales de carne estandarizada a mercados vecinos (FEDEGAN, 2006).

En la gran mayoría de las producciones bovinas de carne, la CC no se emplea como una herramienta útil para medir las reservas de energía, hecho que puede implicar inconsistencias en el desempeño reproductivo de las hembras y una reducción de la respuesta a programas de sincronización del estro y de la ovulación, así como a tratamientos superovulatorios. Por lo tanto, el conocimiento de cómo la CC afecta la dinámica folicular y endocrina, permite hacer un análisis de las condiciones nutricionales de los animales, implementar las biotecnologías adecuadas para el manejo reproductivo y, posiblemente, predecir los resultados obtenidos. El monitoreo de la CC corporal en hembras bovinas mantenidas en pastoreo, permite realizar ajustes en la cantidad y calidad de la dieta mediante el suministro de suplementos, que permitan complementar las variaciones en la producción de forraje y sus posibles deficiencias nutricionales en las diferentes épocas del año.

El objetivo de este artículo es revisar la literatura que describe la utilidad y el efecto de la CC sobre el desempeño reproductivo y la función endocrina en hembras bovinas de carne. Ello permitirá ver la escala de CC como una medida para implementar en las ganaderías de carne colombianas, a partir de la realización de estudios semejantes que validen su uso en las razas bovinas y en las condiciones de manejo en el país.

**Condición corporal.** La evaluación de la CC en bovinos de carne se realiza por medio de la asignación de un índice en una escala de 1-5 (Houghton *et al.*, 1990) o de 1-9 (Wagner *et al.*, 1988), donde 1 es un animal emaciado y 5 ó 9 (dependiendo de la escala usada) es un animal obeso, con el fin de estimar las reservas de grasa corporal mediante la observación y palpación de costillas, columna vertebral, huesos de la cadera e inserción de la cola (Richards, Spitzer y Warner, 1986; Wagner *et al.*, 1988; Edmonson *et al.*, 1989; Houghton *et al.*, 1990). En los trabajos revisados, en Europa y Brasil se utiliza la escala de 1 a 5 y, por el contrario, en Estados Unidos de América (EUA) y Colombia se usa la escala de 1 a 9. Por lo tanto, los resultados se reportaron de acuerdo a la escala empleada por cada autor.

Para evaluar el balance energético de un animal de manera precisa se necesita de condiciones de laboratorio (Schröder y Staufenbiel, 2006). Sin embargo, existen varios métodos para estimar este balance en condiciones de campo, como son el peso

vivo, el espesor del pliegue de la piel, la CC, el espesor de la grasa dorsal, entre otros, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas (Schröder y Staufenbiel, 2006). Las características que se consideran en las técnicas comparativas de estimación de la composición corporal son la exactitud, la precisión, la facilidad de medición, el costo, el grado de impacto en el desempeño del animal o en el manejo y la aplicación de acuerdo a las características del animal (variación en el tipo de cuerpo, raza y edad) (Gresham *et al.*, 1986). Algunos factores que afectan la medición de la CC son la subjetividad, la variación entre evaluadores, la experiencia del evaluador, la raza y la existencia de diferentes escalas de CC en cuanto a la asignación del índice (1-5 ó 1-9), en los intervalos utilizados (con 0,25 ó 0,5 puntos de variación), en los puntos anatómicos valorados y el método de evaluación utilizado (visual o visual y táctil). No obstante, parece que tanto las medidas objetivas como subjetivas pueden ser bastante útiles para predecir la composición de la canal, incluso para animales que no pueden ser caracterizados de acuerdo a la raza, edad o estado reproductivo (Gresham *et al.*, 1986). Ayres *et al.* (2009) en Brasil, encontraron una alta correlación entre la CC y el espesor de la grasa subcutánea de la grupa en vacas Nelore en diferentes estados productivos.

La medición de la CC también tiene ventajas sobre otros métodos que evalúan la composición corporal, como es su bajo costo, lo cual permite realizar evaluaciones frecuentes y sin necesidad de equipos específicos o de instalaciones para encerrar el animal y tampoco requiere de entrenamientos complicados y costosos para el personal. Además, la CC no es afectada por el tamaño del cuerpo, por el estado de preñez o por el alimento presente en el tracto gastrointestinal (Roche *et al.*, 2004), razón por la cual no es necesario un ayuno previo del animal. Por todo lo anterior, es una medida que sigue siendo ampliamente usada por productores e investigadores a nivel mundial.

Por su efecto sobre los parámetros reproductivos, se ha determinado que una CC al parto  $\geq 5$  (escala 1 a 9) es ideal en vacas de carne adultas, ya que en ésta condición son capaces de resistir una pérdida de peso posparto sin disminuir significativamente la tasa de preñez (Richards, Spitzer y Warner, 1986; Morrison, Spitzer y Perkins, 1999; Hess *et al.*, 2005). Igualmente, se indica que cambios en el peso y CC preparto tienen muy poco efecto si la vaca mantiene una condición óptima al parto (DeRouen *et al.*, 1994;

Morrison, Spitzer y Perkins, 1999; Montiel y Ahuja, 2005). En un estudio realizado con novillas primerizas Angus y sus cruces en EUA, se estimó que el cambio en una unidad en la CC en una escala de 1 a 9, se relaciona a un cambio de 33 kg de peso vivo (Lalman *et al.*, 1997). Por otro lado, se propone para novillas *Bos taurus* y *Bos taurus* x *Bos indicus* en Louisiana (EUA), una CC ideal al parto  $\geq 6$ , para optimizar el desempeño reproductivo (DeRouen *et al.*, 1994).

**Condición corporal y desarrollo folicular.** Los resultados de la correlación entre CC y cantidad de folículos pequeños, medianos y grandes en vacas Hereford x Angus son presentados en el estudio realizado por Perry *et al.* (1991) en EUA, en el cual se evidencia que la CC y la nutrición pueden tener mayor efecto sobre el crecimiento desde folículo mediano a folículo grande. Además, los resultados presentados por Rubio *et al.* (2010) en vacas Brahman de Veracruz (México) mostraron correlaciones significativas entre la CC y las poblaciones de folículos ováricos, lo que indica que a medida que una vaca recupera CC se producirá la formación de folículos de diferentes tamaños, seguida por estro y ovulación. Si la CC es baja, se forman muchos folículos pequeños, particularmente aquellos  $< 4$  mm y por lo tanto, hay un retraso en el inicio del estro.

Por otro lado, la relación entre el tamaño del folículo dominante y la CC ha sido evaluada en EUA por Lents *et al.* (2008), los cuales establecieron que el tamaño del folículo al primer estro posparto en vacas Angus x Hereford con CC al parto moderada fue más grande que en vacas delgadas (Tabla 1). De igual manera, Vasconcelos *et al.* (2009) en Brasil, determinaron que bovinos Angus x Nelore en anestro que presentaron mayor índice de CC, tuvieron folículos más grandes al día del retiro del implante de progesterona, mayor tasa de detección de estro durante los primeros 3 y 25 días de la estación de reproducción, y mayor tasa de preñez durante los primeros 3, 25 y 80 días (Tabla 1). Los mismos autores concluyeron que posiblemente las vacas con baja CC no restablecieron su ciclo estral y por tanto tuvieron una menor tasa de detección de estro y en consecuencia una menor tasa de preñez.

Contrariamente, en un estudio realizado en Colombia, con vacas Cebú (*Bos indicus*) primerizas con cría, se reportó que la disminución en la CC ocurrida durante el posparto temprano no se relacionó con el diámetro del folículo dominante, el periodo de interdominancia y la velocidad de crecimiento (Henao y González, 2008).

**Tabla 1.** Desempeño reproductivo en vacas de carne con diferente condición corporal.

| Respuesta   | Condición corporal al parto |                           |                            | P-valor | Vacas                    | Referencia                       |
|---|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------|--------------------------|----------------------------------|
|   | Baja                        | Moderada                  | Alta                       |         |                          |                                  |
| Intervalo desde el parto a la actividad luteal normal (días)    | 93,1 ± 6,5<br>CC < 5,0**    | 63,5 ± 6,5<br>CC ≥ 5,0<** | -                          | 0,01    | Multiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |
|   | 93,3 ± 5,1<br>CC ≤ 4,0**    | 58,3 ± 3,2<br>CC ≥ 4,5**  | -                          | 0,001   | Multiparas               | Looper <i>et al.</i> , 2003      |
|   | 121,0 ± 6,0<br>CC 4,0**     | -                         | -                          | -       | Primiparas               | Lalman <i>et al.</i> , 1997      |
| Intervalo desde el parto a la primera ovulación (días)          | 57,1 ± 4,50<br>CC 2,0*      | 47,8 ± 4,50<br>CC 3,0*    | -                          | 0,05    | Multiparas               | Sinclair <i>et al.</i> , 2002    |
| Intervalo parto al primer estro (días)                          | 89,3 ± 5,6<br>CC ≤ 4,0**    | 53,3 ± 3,7<br>CC ≥ 4,5**  | -                          | 0,001   | Multiparas               | Looper <i>et al.</i> , 2003      |
|   | 88,5 ± 10,9<br>CC 2,0*      | 59,4 ± 8,3<br>CC 3,0*     | 30,6 ± 14,3<br>CC 4,0*     | 0,10    | Multiparas               | Houghton <i>et al.</i> , 1990    |
|   | 61,0 ± 2,0<br>CC ≤ 4,0**    | 49,0 ± 2,0<br>CC ≥ 5,0**  | -                          | 0,01    | Multiparas               | Richards, Spitzer y Warner, 1986 |
| Intervalo parto concepción (días)                               | 98,0 ± 6,0<br>CC ≤ 4,0**    | 74,0 ± 5,0<br>CC ≥ 4,5**  | -                          | 0,05    | Multiparas               | Looper <i>et al.</i> , 2003      |
| Intervalo 1ª actividad luteal normal a la concepción (días)     | 6,0<br>CC ≤ 4,0**           | 16,0<br>CC ≥ 4,5**        | -                          | 0,03    | Multiparas               | Looper <i>et al.</i> , 2003      |
| Intervalo entre partos (días)                                   | 386,0 ± 11,0<br>CC 3,5**    | 366,0 ± 7,0<br>CC 4,5**   | 360,0 ± 7,0<br>CC 6,5**    | 0,03    | Multiparas               | Renquist <i>et al.</i> , 2006    |
|   | 378,0 ± 2,5<br>CC ≤ 2,0*    | 363,0 ± 2,5<br>CC ≥ 3,0*  | -                          | 0,05    | Multiparas               | Osoro y Wright, 1992             |
|   | 92,0<br>CC 4,0**            | -                         | 74,0 y 76,0<br>CC 6 y 7**  | 0,05    | Primiparas               | DeRouen <i>et al.</i> , 1994     |
| Intervalo parto a la preñez (días)                              | 90,0 ± 2,0<br>CC ≤ 4,0**    | 84,0 ± 2,0<br>CC ≥ 5,0**  | -                          | 0,05    | Multiparas               | Richards, Spitzer y Warner, 1986 |
| Intervalo inicio del periodo de apareamiento a la preñez (días) | 30,0 ± 2,6<br>CC ≤ 2,0      | 17,0 ± 2,6<br>CC ≥ 3,0    | -                          | 0,05    | Multiparas               | Osoro y Wright, 1992             |
| Diámetro del folículo dominante (mm)                            | 13,4 ± 0,4<br>CC < 5,0**    | 15,4 ± 0,4<br>CC ≥ 5,0**  | -                          | 0,01    | Multiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |
| Diámetro del folículo dominante (mm) (CIDR)                     | 9,39 ± 0,19<br>CC ≤ 2,75*   | 9,88 ± 0,14<br>CC 3,0*    | 10,27 ± 0,26<br>CC ≥ 3,25* | 0,05    | Primiparas<br>Multiparas | Vasconcelos <i>et al.</i> , 2009 |

| Respuesta   | Condición corporal al parto |                               |                               | P-valor | Vacas                    | Referencia                       |
|---|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------|----------------------------------|
|   | Baja                        | Moderada                      | Alta                          |         |                          |                                  |
| Tasa de preñez (%)  | 87,5<br>CC < 5,0**          | 55,6<br>CC ≥ 5,0**            | -                             | 0,05    | Múltiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |
|   | -                           | 44,0<br>CC 4,5 a 5,0          | 78,0<br>CC ≥ 5,5              | 0,02    | Múltiparas               | Busch <i>et al.</i> , 2008       |
|   | 63,9 ± 7,0<br>CC 4,0**      | 88,9 ± 7,0<br>CC 6,0**        | -                             | 0,01    | Primíparas               | Lake <i>et al.</i> , 2005        |
|   | 56,0 ± 5,0<br>CC 4,0**      | 80,0 ± 4,0<br>CC 5,0**        | 96,0 ± 8,0<br>CC 6,0**        | 0,10    | Primíparas               | Spitzer <i>et al.</i> , 1995     |
|   | -                           | 64,9 y 71,4<br>CC 4,0 y 5,0** | 87,0 y 90,7<br>CC 6,0 y 7,0** | 0,05    | Primíparas               | DeRouen <i>et al.</i> , 1994     |
| Tasa de preñez con CIDR® y/o destete temporal (%)                                       | 47,4 (45/95)<br>CC ≤ 2,75*  | 64,3 (63/98)<br>CC 3,0*       | 72,0 (67/93)<br>CC ≥ 3,25*    | 0,01    | Primíparas<br>Múltiparas | Vasconcelos <i>et al.</i> , 2009 |
| Tasa de preñez con inducción hormonal (%) (CC 60-75 d pp)                               | 30,0<br>CC 2,0*             | 66,6<br>CC 3,0*               | -                             | 0,05    | Múltiparas               | Bastos <i>et al.</i> , 2004      |
| Tasa de concepción al primer servicio (%)   | 36,1 ± 8,0<br>CC 4,0**      | 50,0 ± 8,0<br>CC 6,0**        | -                             | 0,22    | Múltiparas               | Lake <i>et al.</i> , 2005        |
|   | 100,0<br>CC 2,0*            | 80,0<br>CC 3,0*               | 67,0<br>CC 4,0*               | 0,05    | Múltiparas               | Houghton <i>et al.</i> , 1990    |
|   | 65,0<br>CC ≤ 4,0**          | 66,0<br>CC ≥ 5,0**            | -                             | NS      | Múltiparas               | Richards, Spitzer y Warner, 1986 |
| Vacas con actividad luteal (%)  | 58,0<br>CC 4,0**            | 89,0<br>CC 5,0 a 6,0**        | -                             | 0,007   | Primíparas               | Vizcarra <i>et al.</i> , 1998    |
|   | 32,0 ± 4,0<br>CC 4,0**      | 42,0 ± 3,0<br>CC 5,0**        | 49,0 ± 7,0<br>CC 6,0**        | >0,05   | Primíparas               | Spitzer <i>et al.</i> , 1995     |
| Actividad luteal corta P4 ≥ 0,5 ng/mL por <10 días antes del primer estro postparto (%) | 57,9<br>CC < 5,0**          | 85,7<br>CC ≥ 5,0**            | -                             | 0,10    | Múltiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |
| Duración del estro (h)  | 5,6 ± 1,3<br>CC < 5,0**     | 5,8 ± 1,3<br>CC ≥ 5,0**       | -                             | 0,92    | Múltiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |
| Tasa de estro con inducción hormonal (%) (CC 60-75d pp)                                 | 20,0<br>CC 2,0*             | 50,0<br>CC 3,0*               | -                             | 0,05    | Múltiparas               | Bastos <i>et al.</i> , 2004      |
| Montas recibidas (No.)  | 8,2 ± 2,5<br>CC < 5,0**     | 12,2 ± 2,5<br>CC ≥ 5,0**      | -                             | 0,27    | Múltiparas               | Lents <i>et al.</i> , 2008       |

\*Condición corporal escala de 1 a 5, \*\* Condición corporal escala 1 a 9.  
P<sub>4</sub> = progesterona; pp = postparto; NS = no significativo.

**Condición corporal y función ovárica.** Estudios reportando el efecto de la CC sobre el desempeño reproductivo están mostrados en la Tabla 1. El intervalo desde el parto al primer estro y ovulación, en vacas de carne, está en gran medida influenciado por las reservas de energía corporal al parto (Wettemann *et al.*, 2003). Aunque el consumo de nutrientes posparto puede modular el anestro, la ganancia de peso en vacas delgadas no alcanzó a compensar esa deficiencia, ya que una vaca con buena CC al parto y que mantuvo su peso, ovula más temprano (Wettemann *et al.*, 2003). Estas hembras (*Bos taurus* y *Bos taurus* x *Bos indicus*) también presentaron intervalos parto - actividad luteal normal, parto - primer estro y parto - primera ovulación más cortos (Richards, Spitzer y Warner, 1986; Houghton *et al.*, 1990; DeRouen *et al.*, 1994; Lalman *et al.*, 1997; Sinclair *et al.*, 2002; Looper Lents y Wettemann, 2003; Lents *et al.*, 2008). Todo ello sugiere que la CC al parto predice de manera confiable el desempeño reproductivo posparto, en comparación con los cambios de la condición o peso corporal en el preparto (Houghton *et al.*, 1990; DeRouen *et al.*, 1994). Sin embargo, la CC no tiene influencia sobre el comportamiento estral y la duración del primer estro posparto en vacas multíparas Angus x Hereford en EUA (Lents *et al.*, 2008).

Por el contrario, Selk *et al.* (1988) en vacas Hereford (EUA), encontraron que una pérdida mínima de peso y CC fue asociada a periodos cortos a la siguiente concepción; éstos cambios pueden ser la diferencia en el desempeño reproductivo de vacas con similar CC al parto. Además, éstos mismos autores consideraron que la CC al preparto y al inicio de la estación de reproducción también pueden predecir la preñez. Sin embargo, en un estudio realizado por Rutter y Randel (1984) en hembras Brangus en Texas (EUA), mostró que aquellas hembras que permanecieron en la misma CC posparto tuvieron aproximadamente 30 días menos de intervalo parto - estro, comparadas con aquellas que perdieron CC ( $31,7 \pm 2,8$  días vs  $60,0 \pm 7,5$  días, respectivamente). Dentro de los 42 días posparto, solo el 36% de las hembras que perdieron CC presentaron estro, en contraste con un 88% de las hembras que mantuvieron su CC (Rutter y Randel, 1984).

La tasa de preñez, es una variable afectada por las reservas de energía al parto, donde vacas de carne *Bos taurus* y *Bos taurus* x *Bos indicus* primerizas y multíparas con CC 5 a 7 (escala 1 a 9), presentaron altas tasas de preñez por lo menos en cuatro

experimentos (DeRouen *et al.*, 1994; Lake *et al.*, 2005; Lents *et al.*, 2008; Busch *et al.*, 2008; Tabla 1). No obstante, la influencia de la CC sobre la tasa de preñez en novillas y vacas multíparas (*Bos taurus* y *Bos indicus*) en EUA, no fue evidente después de la inseminación artificial al primer servicio (Doren, Long y Cartwright, 1986; Richards, Spitzer y Warner, 1986; Lake *et al.*, 2005; Lents *et al.*, 2008).

En Brasil, las vacas Nelore y Hereford y sus cruces con cría al pie, que mantienen una CC de 3 (escala de 1 a 5) durante la estación reproductiva, presentan mejores tasas de preñez (Vieira *et al.*, 2005; Grecellé *et al.*, 2006; Moraes, Jaume y Souza, 2007). Por otro lado, en un estudio realizado por Renquist *et al.* (2006) con vacas *Bos taurus* en EUA, la CC en la estación reproductiva explicó mejor la variación en la tasa de preñez que la CC al parto. En este estudio, la relación cuadrática entre la CC en la estación reproductiva y la tasa de preñez, sugiere una CC óptima entre 4,5 y 5,5 (escala 1 - 9), que debería ser mantenida entre 4 y 6 durante la estación reproductiva. En la Tabla 1 se muestra el intervalo entre partos, y en ella se comprueba que hembras *Bos taurus* con mayor CC al parto presentaron un intervalo más corto que hembras con menor CC (Osoro y Wright, 1992; Renquist *et al.*, 2006).

En la investigación realizada por Vizcarra *et al.* (1998) en vacas *Bos taurus* la acción de las reservas de energía corporales sobre la actividad luteal es diferente de acuerdo a la localización del experimento. Estos autores encontraron que en Louisiana (EUA), al final de la estación de apareamiento, el porcentaje de vacas con CC al parto de 4 (escala 1 - 9) que tenían actividad luteal fue del 58% comparado con un 89% de vacas con CC 5 ó 6. Por el contrario, en las vacas de Carolina del Sur (EUA) este efecto no fue observado. En relación a lo anterior, Selk *et al.* (1988) encontraron correlación entre CC preparto y número de días al inicio de la actividad luteal en vacas Hereford (EUA), pero de igual manera no encontraron relación entre la CC en el preparto y el inicio de la estación reproductiva con la actividad luteal a los 85 días posparto. Asimismo, la CC al parto no influenció el porcentaje de vacas (Angus, Hereford y sus cruces) con actividad luteal al inicio de la temporada de reproducción en EUA (Spitzer *et al.*, 1995).

Este intervalo desde el parto al inicio de la actividad luteal se redujo al máximo en novillas Angus y sus cruces (EUA) que ganaron 1,8 unidades de CC (escala

1 – 9) en los primeros 90 días posparto (Lalman *et al.*, 1997). Según Richards, Wettemann y Schoenemann, (1989) en EUA, vacas de carne Hereford multíparas no preñadas con restricción alimentaria, iniciaron inactividad luteal al tener pérdidas en su peso inicial de  $24,0 \pm 9,0\%$  y una CC de  $3,5 \pm 0,1$  (escala 1 – 9).

En EUA, dos grupos de novillas Simmental x Angus con CC 5 y CC 7 (escala 1 – 9) fueron sometidas a restricción y saturación de energía, y se encontró que las hembras más gordas permanecieron cíclicas durante 148,4 días en comparación con 61,3 días de las novillas con CC moderada, en el periodo de restricción (Cassady *et al.*, 2009). Sin embargo, estos autores no hallaron efecto de la CC inicial sobre los días de reactivación del ciclo estral durante el periodo de saturación de energía, pero concluyen que ésta sí influyó el grado de grasa requerida para la reactivación.

#### **Condición corporal, hormonas y metabolitos.**

El mecanismo exacto por el cual la nutrición ejerce sus efectos sobre la reproducción sigue siendo un enigma, porque los controles nutricionales sobre la reproducción de la vaca de carne no son mediados por un solo nutriente, metabolito u hormona. Una variedad de factores deben ser considerados para entender la compleja coordinación del sistema de comunicación entre la nutrición y la reproducción. Así, el eje reproductivo (hipotálamo–hipófisis–ovario) integra señales nutricionales que directa o indirectamente afectan la reproducción. Entretanto, el balance energético, el cual es percibido por el eje reproductivo como una variedad de señales inducidas nutricionalmente, tiene un profundo efecto sobre la duración del anestro posparto (Hess *et al.*, 2005).

Adecuadas reservas de energía corporal y suficientes concentraciones en plasma de señales metabólicas, son prerrequisitos para la ovulación en vacas posparto (Wettemann *et al.*, 2003). Interacciones complejas entre hormonas, compuestos metabólicos y otros factores controlan la maduración folicular, el estro y la ovulación en vacas de carne posparto (Wettemann *et al.*, 2003).

A continuación se muestran algunos estudios realizados en ganado de carne, que describen la influencia de la CC sobre las hormonas del eje hipotálamo – hipófisis – ovario, las cuales regulan la fisiología del ciclo estral. Además de ello, presentan resultados acerca del comportamiento de otras hormonas y metabolitos de acuerdo al balance energético del animal.

**Hormona luteinizante (LH).** La secreción de LH es un paso limitante de la velocidad de inicio del crecimiento folicular y del estro después del parto, debido a que inadecuados pulsos de esta hormona pueden causar ondas foliculares recurrentes y atresia del folículo dominante (Wettemann *et al.*, 2003). En un estudio realizado en EUA, que relacionó el efecto de la CC y la ovariectomía sobre la secreción de LH en vacas Hereford, se concluyó que bajas reservas energéticas corporales pueden suprimir la secreción de la hormona por un mecanismo directo e independiente del ovario (Richards *et al.*, 1991). En relación a lo anterior, Bishop, Wetteman y Spicer, (1994) en vacas Hereford y Hereford x Angus en EUA, reportaron que la frecuencia de los pulsos de LH fue mayor para aquellas vacas que en el momento del destete presentaron una  $CC \geq 5$  en una escala 1 – 9 ( $2,3 \pm 0,1$  pulsos/4 horas) comparadas con vacas  $CC < 5$  ( $1,6 \pm 0,1$  pulsos/4 horas). Entretanto, hembras Brangus de Texas (EUA), que mantuvieron la CC posparto mostraron un aumento en la función pituitaria y potencial reproductivo (Rutter y Randel, 1984). Asimismo, con la aplicación de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en vacas de carne Hereford multíparas (EUA), se observó que las hembras con  $CC \leq 4$  (escala 1 – 9) presentaron concentraciones promedio de LH sérico mayores ( $41 \pm 3$  ng/mL) que vacas con  $CC = 5$  y  $CC \geq 6$  ( $32 \pm 4$  y  $34 \pm 4$  ng/mL, respectivamente), posiblemente porque las vacas delgadas pueden tener un mayor almacenamiento pituitario de LH (Rasby *et al.*, 1991).

Varios autores concluyeron que la influencia tanto de la CC como de la nutrición sobre la eficiencia reproductiva parece ser mediada a través de la secreción de LH (Rasby *et al.*, 1991; Wettemann y Bossis, 2000). De la misma forma, en Texas (EUA), hembras Brangus que conservaron su CC posparto secretaron mayor cantidad de LH, tanto de manera natural como inducida por GnRH exógena, comparadas con aquellas que perdieron CC (Rutter y Randel, 1984). Asimismo, en Texas (EUA) Bastidas *et al.* (1990) determinaron que vacas Brahman que mantuvieron la CC aumentaron la función pituitaria, lo que redujo el intervalo parto–primer estro posparto, comparadas con vacas que perdieron reservas de energía. Por el contrario, vacas Blue-Grey en Escocia con  $CC \geq 2,75$  (escala de 1 a 5) comparadas con aquellas de  $CC \leq 2,00$ , no revelaron diferencias en las concentraciones medias plasmáticas de FSH ( $20,2 \pm 3,23$  y  $18,0 \pm 3,23$   $\mu\text{g/L}$ , respectivamente) y LH ( $0,63 \pm 0,064$  y  $0,53 \pm 0,064$   $\mu\text{g/L}$ , respectivamente)

medidas a las nueve semanas posparto (Rhind *et al.*, 1992).

**Estradiol.** La presentación de estro ha sido relacionada con el aumento en las concentraciones circulantes de estradiol. Estas concentraciones pueden tener una influencia sobre la motilidad espermática, por alterar el medio ambiente uterino, y sobre la frecuencia de vacas que presentan luteólisis prematura en el subsecuente ciclo estral (Sá Filho M. *et al.*, 2010).

Las concentraciones plasmáticas de estradiol 4 a 16 horas después del primer estro posparto no fueron afectadas por la CC al parto de vacas Angus x Hereford multíparas en EUA (Lents *et al.*, 2008). Por el contrario, en vacas Hereford (EUA), entre los 240 y 256 días de gestación (Rasby *et al.*, 1990), las concentraciones de estradiol fueron mayores para hembras con CC = 4 en una escala de 1-9 ( $34 \pm 3$  pg/mL) comparadas con aquellas CC = 6 ( $25 \pm 3$  pg/mL). Esto se puede deber a una mayor masa de cotiledones en las vacas delgadas, de donde se originan la mayoría de los estrógenos placentarios. Los estrógenos sirven para aumentar el flujo de sangre al útero y así puede incrementar la cantidad de nutrientes para el feto y la placenta, mecanismo por el cual las vacas delgadas pueden soportar una tasa de crecimiento fetal similar al de las vacas moderadas (Rasby *et al.*, 1990).

**Factor de crecimiento semejante a la insulina I (IGF-I), insulina y leptina.** El IGF-I, la insulina y la leptina pueden tener efectos directos sobre la pituitaria al incrementar la secreción de LH y sobre el ovario al regular la esteroidogénesis (Wettermann *et al.*, 2003). El crecimiento folicular, las concentraciones en el líquido folicular de IGF-I, del estradiol y de proteínas de unión al IGF (IGFBPs) no fueron afectados por la CC al parto en vacas *Bos taurus* en EUA (Wettermann *et al.*, 2003). A pesar de esto, si las reservas de grasa y el consumo de nutrientes en hembras bovinas no son los adecuados, la movilización grasa puede alterar las concentraciones plasmáticas de insulina, IGF-I y leptina (Wettermann *et al.*, 2003). Sin embargo, en un estudio realizado en EUA con vacas Angus x Hereford preñadas, estas concentraciones estuvieron influenciadas principalmente por la cantidad de consumo de nutrientes más que por la CC (Lents *et al.*, 2005). Con respecto a la concentración de insulina en plasma, ésta fue correlacionada positivamente con las concentraciones plasmáticas de leptina y con la CC en novillas cruzadas del Reino Unido (Adamiak *et al.*, 2005) y, adicionalmente, su concentración media es

mayor en vacas Angus x Hereford (EUA) con CC = 5 en una escala de 1 - 9 ( $1,08 \pm 0,05$  ng/ml) comparadas con las de CC = 4 ( $0,97 \pm 0,05$  ng/ml), cuando se mide siete semanas antes del primer estro posparto (Ciccioli *et al.*, 2003). A su vez las concentraciones plasmáticas de leptina (en novillas) e IGF-I (en novillas y vacas) fueron mayores en hembras con CC moderada comparadas con las de CC baja, en varias razas (Bishop, Wetteman y Spicer, 1994; León *et al.*, 2004; Adamiak *et al.*, 2005; Lake *et al.*, 2006).

Por el contrario, en vacas primerizas Angus x Hereford (EUA), Ciccioli *et al.* (2003) encontraron que el IGF-I no fue afectado por la CC, posiblemente porque la CC mostró poca diferencia entre los grupos de animales. Tampoco estos autores encontraron influencia de la CC al parto sobre las concentraciones de leptina siete semanas antes del primer estro posparto.

**Glucosa.** La glucosa es uno de los sustratos metabólicos más importantes requeridos para una función apropiada de los procesos reproductivos en vacas de carne. La glucosa es la principal fuente de energía utilizada por el sistema neural, y debido a que, el sistema neuro-endocrino está íntimamente involucrado en el control de la reproducción y la secreción de hormonas, parece lógico suponer que la concentración de glucosa en sangre es un mediador específico de los efectos del consumo de energía sobre la reproducción (Short y Adams, 1988).

El efecto de la CC sobre la glucosa presenta resultados contradictorios. En estudios realizados por Ciccioli *et al.* (2003) en vacas primerizas Angus x Hereford (EUA), Adamiak *et al.* (2005) en novillas cruzadas en el Reino Unido y Giraldo *et al.* (2009) en ganado Brahman en Colombia, las concentraciones plasmáticas de glucosa no se vieron afectadas por diferentes valores de CC. Sin embargo, en 1998, Vizcarra *et al.* determinaron en vacas *Bos taurus* de diferentes razas, que las concentraciones de glucosa durante la estación reproductiva aumentaron de acuerdo con el incremento de la CC al parto.

Existen resultados contradictorios acerca de los efectos que tiene la CC, medida en diferentes momentos fisiológicos (preparto, parto y posparto temprano), sobre algunos parámetros reproductivos, endocrinos y metabólicos. No obstante, como conclusión general, se puede sugerir que a medida que la CC se acerca a los valores extremos de la escala de medición (1 y 5 ó 9), es decir, cuando los animales son muy delgados o



muy gordos, esta variable tiene un efecto importante sobre el desempeño reproductivo de la hembra bovina.

La CC ocasiona cambios en la reproducción, posiblemente, mediante modificaciones en el metabolismo energético del animal, alteraciones en la función de las glándulas endocrinas, que afectan la síntesis y secreción de las hormonas del eje hipotálamo – hipófisis – ovario y finalmente, a nivel ovárico, al generar variaciones en la dinámica folicular y la ovulación.

**Condición corporal y protocolos de sincronización del estro y de la ovulación.** Los protocolos de sincronización del estro y de la ovulación pueden ayudar a superar los efectos negativos de una baja CC sobre la reproducción y asimismo reactivar la función ovárica. Medeiros *et al.* (2004) en Brasil, demostraron que la sincronización con dispositivo intravaginal, benzoato de estradiol, gonadotropina coriónica equina y GnRH puede inducir el estro y la ovulación de manera satisfactoria en vacas Angus x Nelore con una CC mayor de 2,5 (escala de 1 a 5). Los resultados del anterior estudio también mostraron que las tasas de preñez y estro dependen de la CC. Vacas con una CC = 2 presentaron una tasa de preñez del 30%, en comparación con un 57% para vacas CC = 2,5 y CC = 3,0. Igualmente, en hembras bovinas *Bos taurus* x *Bos indicus* en México con pobre CC (1,5 a 2,5 en escala de 1 a 5), se ha reportado respuesta satisfactoria a tratamientos con GnRH + prostaglandina F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ), en donde los protocolos Ovsynch y CO-Synch presentaron mayor tasa de preñez (21 y 28%) al compararlos con Select Synch (0%) (Ahuja *et al.*, 2005).

Vacas Angus en EUA (DeJarnette *et al.*, 2001) sometidas a técnicas de sincronización del estro basadas en GnRH + PGF2 $\alpha$  y con una CC  $\geq$  5,0 tuvieron mayores tasas de concepción (38%, 6/16) comparadas con aquellas con CC < 5,0 (11%, 3/27). En Brasil, Sá Filho *et al.* (2009) encontraron que la CC fue un factor de confianza para predecir la tasa de preñez en vacas Nelore sometidas a un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) basado en progesterona, benzoato de estradiol, PGF2 $\alpha$ , cipionato de estradiol y destete temporal. Sin embargo, Meneghetti *et al.* (2009) y Pinheiro *et al.* (2009) también en Brasil, no hallaron efecto de la CC (3,0 a 4,0 y 2,0 a 3,5, respectivamente, en escala de 5 puntos) en la tasa de preñez de vacas Nelore tratadas con un protocolo similar al mencionado anteriormente.

Sá Filho *et al.* (2010) concluyeron que los resultados contradictorios obtenidos en su investigación acerca

del efecto de la CC sobre la tasa de preñez en vacas Nelore de Brasil, pueden deberse a varios factores. El grupo de animales del primer experimento había reiniciado su ciclo estral posparto y no se encontraban bajo amamantamiento, por lo cual no se presentó efecto de la CC. Por otro lado, algunas vacas del segundo experimento presentaron un efecto positivo de la CC debido, probablemente, a una mayor CC o un balance energético negativo menos severo con respecto a las otras, lo que les permitió tener mayores posibilidades de iniciar un desarrollo folicular y reanudar ciclos estrales espontáneos o inducidos y, en consecuencia, presentar mejores tasas de preñez.

En síntesis, los protocolos de sincronización del estro y la ovulación facilitan la utilización de las biotecnologías reproductivas en ganado *B. indicus*, debido a que se superan las dificultades presentadas por la detección del estro, el anestro inducido nutricionalmente y por el amamantamiento (Bó, Baruselli y Martínez, 2003). Probablemente, esta técnica también pueda ayudar a superar el efecto negativo de la baja CC sobre el desempeño reproductivo, siendo utilizada en animales que no se encuentren extremadamente delgados.

La variación en los resultados obtenidos en diferentes investigaciones sobre el efecto de la CC sobre algunas variables reproductivas, se podrían explicar posiblemente por la falta de una medición sistemática y precisa de la CC y a factores como el balance nutricional, la raza y el amamantamiento. Además, en varios estudios no fue posible estimar los cambios en la CC, los cuales pudieron haber generado alteraciones en los datos registrados.

## CONCLUSIONES

La CC como reflejo de las reservas energéticas de los bovinos, es útil para prever el futuro desempeño reproductivo posparto en hembras de carne, por su influencia sobre la dinámica folicular, la actividad ovárica, la función endocrina y la tasa de preñez. De esta forma, aunque se obtiene respuesta satisfactoria a los protocolos de sincronización del estro y la ovulación en hembras con baja CC, se demuestra que la nutrición tiene un papel determinante en los resultados obtenidos a través de los mismos. El mecanismo por el cual las reservas de energía ejercen su efecto sobre la reproducción parece estar mediado por la acción de éstas sobre la secreción de LH a nivel pituitario.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Adamiak, S.J., K. Mackie, R.G. Watt, R. Webb and K.D. Sinclair. 2005. Impact of nutrition on oocyte quality: cumulative effects of body composition and diet leading to hyperinsulinemia in cattle. *Biology of Reproduction* 73(5): 918–926.
- Ahuja, C., F. Montiel, R. Canseco, E. Silva and G. Mapes. 2005. Pregnancy rate following GnRH + PGF2 $\alpha$  treatment of low body condition, anestrous taurus by *Bos indicus* crossbred cows during the summer months in a tropical environment. *Animal Reproduction Science* 87(3): 203–213.
- Ayres, H., R.M. Ferreira, J.R.S Torres-Júnior, C.G.B. Demétrio, C.G. de Lima and P.S. Baruselli. 2009. Validation of body condition score as a predictor of subcutaneous fat in Nelore (*Bos indicus*) cows. *Livestock Science* 123(2): 175–179.
- Bastidas, P., D.W. Forrest, R.P. Del Vecchio and R.D. Randel. 1990. Biological and immunological luteinizing hormone activity and blood metabolites in postpartum Brahman cows. *Journal of Animal Science* 68(9): 2771–2778.
- Bishop, D.K., R.P. Wettemann and L.J. Spicer. 1994. Body energy reserves influence the onset of luteal activity after early weaning of beef cows. *Journal of Animal Science* 72(10): 2703–2708.
- Bó, G.A., P.S. Baruselli and M.F. Martínez. 2003. Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science* 78(3): 307–326.
- Boland, M.P., P. Lonergan and D. O'Callaghan. 2000. Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology, and oocyte and embryo development. *Theriogenology* 55(6): 1323–1340.
- Busch, D.C., J.A. Atkins, J.F. Bader, D.J. Schafer, D.J. Patterson, T.W. Geary and M.F. Smith. 2008. Effect of ovulatory follicle size and expression of estrus on progesterone secretion in beef cows. *Journal of Animal Science* 86(3): 553–563.
- Cassady, J.M., T.D. Maddock, A. DiCostanzo and G.C. Lamb. 2009. Body composition and estrous cyclicity responses of heifers of distinct body conditions to energy restriction and repletion. *Journal of Animal Science* 87(7): 2255–2261.
- Ciccioli, N.H., R.P. Wettemann, L.J. Spicer, C.A. Lents, F.J. White and D.H. Keisler. 2003. Influence of body condition at calving and postpartum nutrition on endocrine function and reproductive performance of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science* 81(12): 3107–3120.
- DeJarnette, J.M., M.L. Day, R.B. House, R.A. Wallace and C.E. Marshall. 2001. Effect of GnRH pretreatment on reproductive performance of postpartum suckled beef cows following synchronization of estrus using GnRH and PGF2 $\alpha$ . *Journal of Animal Science* 79(7): 1675–1682.
- DeRouen, S.M., D.E. Franke, D.G. Morrison, W.E. Wyatt, D.F. Coombs, T.W. White, P.E. Humes and B.B. Greene. 1994. Parturition body condition and weight influences on reproductive performance of first-calf beef cows. *Journal of Animal Science* 72(5): 1119–1125.
- Doren, P.E., C.R. Long and T.C. Cartwright. 1986. Factors affecting the relationship between calving interval of cows and weaning weights of calves. *Journal of Animal Science* 62(5): 1194–1202.
- Dunn, T.G and G.E. Moss. 1992. Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. *Journal of Animal Science* 70(5): 1580–1593.
- Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72(1): 68–78.
- Federación Colombiana de Ganaderos – FEDEGAN. 2006. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019. Primera edición. Sanmartín Obregón, Bogotá D.C. 296 p.
- Giraldo, L.F., A.M. Loaiza, S. Ángel y L.F. Uribe-Velásquez. 2009. Parámetros metabólicos séricos y CC durante el pre y posparto en vacas Brahman. *Revista Científica (Maracaibo)* 19(4): 350–355.
- Grecellé, R.A., J.O.J. Barcellos, J.B. Neto, E. Da Costa e E. Prates. 2006. Taxa de prenhez de vacas Nelore x Hereford em ambiente subtropical sob restrição alimentar. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(4): 1423–1430.
- Gresham, J.D., J.W. Holloway, W.T. Jr Butts and J.R. McCurley. 1986. Prediction of mature cow carcass composition from live animal measurements. *Journal of Animal Science* 63(4): 1041–1048.

- Henao, G. y V. Gonzáles. 2008. Relación de la variación del peso vivo y de la condición corporal con la dinámica folicular posparto en vacas Cebú primerizas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 61(1): 4394-4399.
- Hess, B.W., S.L. Lake, E.J. Scholljegerdes, T.R. Weston, V. Nayigihugu, J.D.C. Molle and G.E. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science* 83: E90–E106.
- Houghton, P.L., R.P. Lemenager, L.A. Horstman, K.S. Hendrix and G.E. Moss. 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science* 68(5): 1438-1446.
- Jones, A.L. and G.C. Lamb. 2008. Nutrition, synchronization, and management of beef embryo transfer recipients. *Theriogenology* 69(1): 107–115.
- Lake, S.L., E.J. Scholljegerdes, R.L. Atkinson, V. Nayigihugu, S.I. Paisley, D.C. Rule, G.E. Moss, T.J. Robinson and B.W. Hess. 2005. Body condition score at parturition and postpartum supplemental fat effects on cow and calf performance. *Journal of Animal Science* 83(12): 2908–2917.
- Lake, S.L., E.J. Scholljegerdes, D.M. Hallford, G.E. Moss, D.C. Rule and B.W. Hess. 2006. Effects of body condition score at parturition and postpartum supplemental fat on metabolite and hormone concentrations of beef cows and their suckling calves. *Journal of Animal Science* 84(7): 1038–1047.
- Lalman, D.L., D.H. Keisler, J.E. Williams, E.J. Scholljegerdes and D.M. Mallett. 1997. Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anestrus by undernourished suckled beef heifers. *Journal of Animal Science* 75(8): 2003–2008.
- Lents, C.A., R.P. Wettemann, F.J. White, I. Rubio, N.H. Ciccioli, L.J. Spicer, D.H. Keisler and M.E. Payton. 2005. Influence of nutrient intake and body fat on concentrations of insulin-like growth factor-I, insulin, thyroxine, and leptin in plasma of gestating beef cows. *Journal of Animal Science* 83:586–596.
- Lents, C.A., F.J. White, N.H. Ciccioli, R.P. Wettemann, L.J. Spicer and D.L. Lalman. 2008. Effects of body condition score at parturition and postpartum protein supplementation on estrous behavior and size of the dominant follicle in beef cows. *Journal of Animal Science* 86(10): 2549-2556.
- León, H.V., J. Hernández-Cerón, D.H. Keisler and C.G. Gutierrez. 2004. Plasma concentrations of leptin, insulin-like growth factor-I, and insulin in relation to changes in body condition score in heifers. *Journal of Animal Science* 82(2): 445–451.
- Looper, M.L., C.A. Lents and R.P. Wettemann. 2003. Body condition at parturition and postpartum weight changes do not influence the incidence of short-lived corpora lutea in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science* 81(10): 2390–2394.
- Medeiros Bastos, G., R.H. Brenner, F.W. Willke, J.P. Neves, J.F.C. Oliveira, J.F.M. Bragança, S.A. Machado, P.M. Porciúncula and P.B.D. Gonçalves. 2004. Hormonal induction of ovulation and artificial insemination in suckled beef cows under nutritional stress. *Theriogenology* 62(5): 847-853.
- Meneghetti, M., O.G. Sá Filho, R.F.G. Peres, G.C. Lamb and J.L.M. Vasconcelos. 2009. Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows I: Basis for development of protocols. *Theriogenology* 72(2): 179–189.
- Montiel, F. and C. Ahuja. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science* 85(1-2): 1-26.
- Moraes, J.C.F., C.M. Jaume and C.J.H. Souza. 2007. Body condition score to predict the postpartum fertility of crossbred beef cows. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(5):741–746.
- Morrison, D.G., J.C. Spitzer and J.L. Perkins. 1999. Influence of prepartum body condition score change on reproduction in multiparous beef cows calving in moderate body condition. *Journal of Animal Science* 77(5): 1048–1054.
- Osoro, K. and I.A. Wright. 1992. The effect of body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring-calving beef cows. *Journal of Animal Science*. 70(6): 1661-1666.

- Perry, R.C., L.R. Corah, R.C. Cochran, W.E. Beal, J.S. Stevenson, J.E. Minton, D.D. Simms and J.R. Brethour. 1991. Influence of dietary energy on follicular development, serum gonadotropins, and first postpartum ovulation in suckled beef cows. *Journal of Animal Science* 69(9): 3762-3773.
- Pinheiro, V.G., A.F. Souza, M.F. Pegorer, R.A. Satrapa, R.L. Ereno, L.A. Trinca and C.M. Barros. 2009. Effects of temporary calf removal and eCG on pregnancy rates to timed-insemination in progesterone-treated postpartum Nelore cows. *Theriogenology* 71(3): 519-524.
- Rasby, R.J., R.P. Wettemann, R.D. Geisert, L.E. Rice and C.R. Wallace. 1990. Nutrition, body condition and reproduction in beef cows: fetal and placental development, and estrogens and progesterone in plasma. *Journal of Animal Science* 68(12): 4267-4276.
- Rasby, R.J., R.P. Wettemann, R.D. Geisert, J.J. Wagner and K.S. Lusby. 1991. Influence of nutrition and body condition on pituitary, ovarian, and thyroid function of nonlactating beef cows. *Journal of Animal Science* 69(5): 2073-2080.
- Renquist, B.J., J.W. Oltjen, R.D. Sainz and C.C. Calvert. 2006. Relationship between body condition score and production of multiparous beef cows. *Livestock Science* 104:147-155.
- Rhind, S.M., T.A. Bramley, I.A. Wright and S.R. McMillen. 1992. FSH and LH receptor concentrations in large ovarian follicles of beef cows in high and low levels of body condition at nine weeks post partum. *Reproduction, Fertility and Development* 4(5): 515-522.
- Richards, M.W., J.C. Spitzer and M.B. Warner. 1986. Effect of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. *Journal of Animal Science* 62: 300-306.
- Richards, M.W., R.P. Wettemann and H.M. Schoenemann. 1989. Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum and ovarian activity. *Journal of Animal Science* 67(6): 1520-1526.
- Richards, M.W., R.P. Wettemann, L.J. Spicer and G.L. Morgan. 1991. Nutritional anestrus in beef cows: effects of body condition and ovariectomy on serum luteinizing hormone and insulin-like growth factor-I. *Biology of Reproduction* 44(6): 961-966.
- Roche, J.F. 2006. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science* 96(3-4): 282-296.
- Roche, J.R., P.G. Dillon, C.R. Stockdale, L.H. Baumgard and M.J. VanBaale. 2004. Relationships among international body condition scoring systems. *Journal of Dairy Science* 87(9): 3076-3079.
- Rubio, I., E. Castillo, R. Soto, F. Alarcón, C. Murcia and C.S. Galina. 2010. Postpartum follicular development in Brahman cows under two stocking rates. *Tropical Animal Health and Production* 42(3): 539-545.
- Rutter, L.M. and R.D. Randel. 1984. Postpartum nutrient intake and body condition: effect on pituitary function and onset of estrus in beef cattle. *Journal of Animal Science* 58(2): 265-274.
- Sá Filho, M.F., A.M. Crespilho, J.E.P. Santos, G.A. Perry and P.S. Basurelli. 2010. Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. *Animal Reproduction Science* 120(1-4): 23-30.
- Sá Filho, O.G., M. Meneghetti, R.F.G. Peres, G.C. Lamb and J.L.M. Vasconcelos. 2009. Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows II: Strategies and factors affecting fertility. *Theriogenology* 72(2): 210-218.
- Sá Filho, O.G., C.C. Dias, G.C. Lamb and J.L.M. Vasconcelos. 2010. Progesterone-based estrous synchronization protocols in non-suckled and suckled primiparous *Bos indicus* beef cows. *Animal Reproduction Science* 119(1-2):9-16.
- Schröder, U.J. and R. Staufenbiel. 2006. Invited Review: methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *Journal of Dairy Science* 89(1): 1-14.
- Selk, G.E., R.P. Wettemann, K.S. Lusby, J.W. Oltjen, S.L. Mobley, R.J. Rasby and J.C. Garmendia. 1988. Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. *Journal of Animal Science* 66(12): 3153-3159.
- Short, R.E. and D.C. Adams. 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Canadian Journal of Animal Science* 68(1): 29-39.

- Sinclair, K.D., G. Molle, R. Revilla, J.F. Roche, G. Quintans, L. Marongiu, A. Sanz, D.R. Mackey and M.G. Diskin. 2002. Ovulation of the first dominant follicle arising after day 21 post partum in suckling beef cows. *Animal Science* 75(1): 115-126.
- Spitzer, J.C., D.G. Morrison, R.P. Wettemann and L.C. Faulkner. 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal of Animal Science* 73(5): 1251-1257.
- Vasconcelos, J.L.M., O.G. Sá Filho, G.C. Perez and A.T. Silva. 2009. Intravaginal progesterone device and/or temporary weaning on reproductive performance of anestrous crossbred Angus x Nelore cows. *Animal Reproduction Science* 111:302-311.
- Vieira, A., J.F.P. Lobato, R.A.A. Torres, I.M. Cezar e E.S. Correa. 2005. Fatores determinantes do desempenho reprodutivo de vacas nelore na Região dos Cerrados do Brasil Central. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34 (6): 2408-2416.
- Vizcarra, J.A., R.P. Wettemann, J.C. Spitzer and D.G. Morrison. 1998. Body condition at parturition and postpartum weight gain influence luteal activity and concentrations of glucose, insulin, and nonesterified fatty acids in plasma of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science* 76(4): 927-936.
- Wagner, J.J., K.S. Lusby, J.W. Oltjen, J. Rakestraw, R.P. Wettemann and L.E. Walters. 1988. Carcass composition in mature Hereford cows: estimation and effect on daily metabolizable energy requirement during winter. *Journal of Animal Science* 66(3): 603-612.
- Wettemann, R.P. and I. Bossis. 2000. Energy intake regulates ovarian function in beef cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1-10.
- Wettemann, R.P., C.A. Lents, N.H. Ciccioli, F.J. White and I. Rubio. 2003. Nutritional- and suckling-mediated anovulation in beef cows. *Journal of Animal Science* 81 (E. Suppl. 2): E48-E59.