

LA REPRODUCCIÓN DE LAS VACAS LECHERAS ES AFECTADA POR EL ESTRÉS CALÓRICO

Autor/es:

Renato Raúl Lozano Domínguez Everardo González Padilla** Centro Regional de Investigación Norte – Centro del INIFAP. Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes – Zacatecas, ** Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.*

I. INTRODUCCIÓN

En México, las cuencas lecheras de producción intensiva con mayor desarrollo se ubican en regiones donde la temperatura ambiente durante los meses cálidos, pueden rebasar la capacidad de las vacas para mantenerse en condiciones no estresantes, de confort, particularmente las vacas altas productoras.

En los últimos 25 años, el incremento de la producción de leche se ha relacionado con una reducción de la fertilidad al primer servicio entre 0.5 y 1 % anual (Beam y Butler, 1999; Royal et al., 2000) con un retraso en el re-inicio de la actividad ovárica post-parto (Staples et al., 1990), del primer servicio

(Faust et al., 1988) y de la concepción (Osen et al., 2003). Así mismo, la mayor productividad láctea se ha asociado también con un mayor porcentaje de vacas con anestros prolongados y con retrasos en la ovulación y la luteólisis (Royal et al., 2000). Lo que reduce la eficiencia reproductiva de los hatos lecheros (Faust et al., 1988; Butler, 1998; Lucy, 2001; Ravagnolo y Misztal, 2002; Osen et al., 2003).

La importancia económica de la subfertilidad en vacas lecheras, se refleja en tres vertientes: 1. Los programas reproductivos en los sistemas intensivos de producción de leche, se han establecido para obtener un intervalo entre partos

óptimo, lo que representa una mayor utilidad económica (Stevenson, 1997). 2. La reducción de la fertilidad en el verano necesariamente establece una estacionalidad de los partos y de la

producción (Osen et al., 2003). 3. Se incrementa el porcentaje de vacas problema y la probabilidad de eliminación prematura de las vacas del hato (Talavera et al., 1973; Valdespino, 1991).

II. ALTERACIONES PRODUCTIVAS, FISIOLÓGICAS Y METABÓLICAS EN VACAS LECHERAS BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS CALÓRICO

2.1. Adaptaciones fisiológicas y mecanismos de disipación del calor

La intensificación de los sistemas de producción de leche impone en los animales grandes demandas fisiológicas, que sólo pueden ser satisfechas cuando existe la constitución genética adecuada y se garantiza un ambiente donde ésta pueda expresarse. La temperatura ambiental confortable para el ganado lechero ha sido estimada entre los - 5 y 20 ° C (Shearer y Beede, 1990), mientras que el umbral máximo no estresante se ha estimado entre 25 y 26 ° C (Berman et al., 1985).

Las funciones básicas del organismo explican entre el 35 y el 70 % del total de la producción diaria de calor, proporción que varía dependiendo de la cantidad, calidad y tipo de alimento consumido, así como del nivel de producción láctea, ya que se ha demostrado en vacas con mayor producción láctea una mayor generación de calor metabólico, que en las vacas no lactantes (Shearer y Beede, 1990b).

Si a lo anterior se le suma el incremento de la temperatura corporal y de la tasa respiratoria por efectos del calor ambiental (Wolfenson et al., 1995; Truth et al., 1998; Wilson et al., 1998 a; Roth et al., 2000; Guzeloglu et al., 2001; Umphrey et al., 2001), entonces se incrementa la posibilidad de que la vaca lechera entre en estrés calórico, que se ha definido como el límite o punto en el que el calor generado o ganado por la vaca es superior a su capacidad para eliminarlo (Hansen, 1994).

Para eliminar el calor generado y almacenado en su cuerpo, las vacas responden con una reducción del consumo de alimento y de la absorción de nutrientes, con una menor actividad física, con un incremento en el consumo de agua y de los requerimientos de potasio y sodio. Así mismo, se incrementan la tasa respiratoria, la temperatura corporal, el flujo sanguíneo periférico, la sudoración y el jadeo (Kibler, 1950; Shearer y Beede, 1990a; Shearer y Beede 1990b; Hansen, 1994; Shearer y Bray, 1994; West, 1999).

2.2. Alteraciones metabólicas y su repercusión sobre la reproducción

Se ha observado en vacas expuestas a condiciones ambientales calurosas, una reducción de las concentraciones plasmáticas de somatotropina, triyodotironina y tiroxina (Magdub et al., 1982; McGuire et al., 1991). Esta reducción se ha relacionado con un consumo restringido de alimento, y se ha

propuesto que la reducción del consumo es debida a un intento por reducir la producción de calor metabólico.

Cuando el gasto energético es mayor al consumo, las vacas entran en un balance energético negativo (BEN), entonces utilizarán sus reservas corporales y catabolizarán glucógeno por lo que perderán peso corporal (Grummer, 1995; Butler et al., 1998; Kendrick et al., 1999; Butler, 2000).

Las vacas con BEN tienen una mayor concentración circulante de ácidos grasos no esterificados. En vacas alimentadas con bajos niveles de energía (Armstrong et al., 2001) y con un BEN (Mihm y Bleach, 2003) se ha observado una menor concentración de insulina (Mihm y Bleach, 2003), de factores de crecimiento similares a la insulina tipo I (IGF-I) (Bossis et al., 2000; Armstrong et al., 2001; Mihm y Bleach, 2003) y de estradiol (E2) (Bossis et al., 2000; Armstrong et al., 2001), que en las vacas que fueron satisfechas en sus requerimientos. Esto mismo se ha observado en vacas lecheras con BEN durante el post-parto temprano, donde la disminución de las concentraciones de IGF-I, glucosa y E2 (Beam y Butler, 1997; Butler, 2000; Armstrong et al., 2001) se han asociado con fallas en la ovulación de las primeras ondas de desarrollo folicular post-parto y con un mayor intervalo de la primera ovulación posparto (Beam y Butler, 1997; Beam y Butler, 1998). En animales con BEN se ha observado una menor concentración y frecuencia de pulsos de la hormona luteinizante (LH) (Beam y Butler, 1997) y menor respuesta de las estructuras ováricas a la LH (Butler et al., 2000), por lo que se tienen menos folículos de gran tamaño (Bossis et al., 2000) y se incrementan las fallas en la ovulación (Mackey et al., 1999). En trabajos de investigación se ha demostrado, que al aumentar la densidad energética de la dieta se incrementa la concentración circulante de LH, insulina e IGF-I y la frecuencia de pulsos de LH. También, se ha observado una mayor respuesta del folículo a la LH, se incrementa la esteroidogénesis, la probabilidad de ovulación de los folículos dominantes y el número de folículos pequeños (Staples et al., 1990; Beam y Butler, 1998).

2.3. Reproducción y fertilidad

A través de los años, en las vacas Holstein de los sistemas intensivos de producción se ha observado una reducción significativa del porcentaje de concepción en los meses calurosos del año (Avendaño et al., 1990; Fernández, 1997; Lozano et al., 1999; Lozano et al., 2005; Lozano et al., 2005), y de Holstein, Pardo Suizo y sus cruzas con Cebú en clima tropical (Ingraham et al., 1975; Roman et al., 1983; Lozano et al., 1992).

Varios estudios han determinado, que el efecto del estrés calórico cinco (Ravagnolo y Misztal, 2002) y dos días antes del servicio (Ingraham et al., 1971; Ingraham et al., 1975; Ravagnolo y Misztal, 2002), al momento del servicio (Cartmill et al., 2001; Ravagnolo y Misztal, 2002), y en los primeros tres (Ealy et al., 1993) y siete (Putney et al. 1989 c; Rivera y Hansen, 2001) días post-servicio es crítico sobre la tasa de fertilización y el desarrollo embrionario. En varios estudios se ha observado que por cada unidad de

incremento del índice temperatura – humedad (THI) se tiene una reducción de 0.5 % de la tasa de no retorno de estro a 45 días (Ravagnolo y Misztal, 2002) y una disminución entre 0.7 y 1.03 % de vacas gestantes (Lozano et al., 2005; Lozano et al., 2005).

Independientemente del mes de servicio, la tasa de gestación de las vacas de Cd. Delicias fue crítico cuando índice de temperatura – humedad en el día del servicio (THIS) fue superior a 66, y se agudizó a THIS mayores a 72 (Lozano et. al., 2005). En el caso de Aguascalientes la reducción de la gestación en las vacas expuestas fue importante a un THI superior a 74 (Lozano et al., 2005). En ambas regiones, el nivel de gestación de las vacas altas productoras fue inferior en todos los rangos de THIS estudiados.

2.4. Variación en la producción láctea

La capacidad productiva de la vaca lechera es afectada por el estrés calórico durante el período seco y productivo del animal. En vacas sin acceso a sombra, ni a tratamientos para mitigar el calor durante el último tercio de la gestación se ha observado una reducción del 12 % de la producción de leche de la lactancia subsecuente, con relación a lo observado en vacas con acceso a esos tratamientos (Collier et al., 1982).

Durante el período post-parto, la reducción del consumo de materia seca es uno de los primeros cambios que se dan en las vacas para eliminar el calor corporal en períodos de estrés calórico, y en buena medida a ello se debe la disminución de la producción láctea. Algunos estudios han observado en vacas Holstein, que estuvieron sujetas a cambios de temperatura ambiente de 18 a 29.4° C (Rousel y Chandler, 1984) o que fueron mantenidas en ambientes naturales en los meses cálidos (Wray, 1975), una reducción en la producción de leche (Rousel y Chandler, 1984) y en la producción de leche corregida a grasa (Wray, 1975).

Los efectos del estrés calórico sobre la producción han sido más críticos cuando las vacas fueron expuestas a temperatura ambiente entre 27° y 40° C (Brody, 1954; Johnson, 1983; McGuire, 1989; Wilson et al., 1998 a) y a una mayor radiación solar, en áreas sin sombras (Brody, 1954; Roman et al., 1977; Schneider, 1984). En estas condiciones se observó una reducción del consumo de materia seca entre el 10 y el 33% (Johnson, 1983; McGuire, 1989; Wilson et al., 1998 a), y de la producción láctea, entre 10.7 y 43% (Brody, 1954; Roman et al., 1977; Schneider, 1984; Wilson et al., 1998 a).

En un estudio realizado en Israel en sistemas intensivos de producción de leche, se observaron tres efectos estacionales sobre la producción: 1. Durante el verano, las vacas en su segundo mes de lactancia produjeron 15 % menos leche, que las vacas que tuvieron los mismos días en leche del mes de febrero. 2. Las vacas paridas en diciembre mostraron una mayor producción láctea que las paridas en junio. 3. La reducción del pico de producción de leche en el verano tiene un efecto acarreado sobre la producción de otoño (Barash et al., 2001).

La composición de proteína y grasa de la leche también es afectada por la alta temperatura y humedad ambiental. Se ha observado que cuando la temperatura ambiente se incrementa de 7.7 a 36 ° C, los porcentajes de grasa y proteína en la leche se reducen de 3.85 a 3.31 % y 3.42 a 2.98 %, respectivamente (Rodríguez, 1985); además, se ha demostrado una fluctuación en la producción de proteína de leche a través del año, siendo mayor en los meses de enero y febrero (1.28 kg/d) y menor en septiembre (1.1 kg/d), por lo que los autores infieren que la producción láctea y el contenido de proteína y grasa son más afectados por las variaciones de temperatura ambiental y por el fotoperíodo, que por la variación estacional en la composición de la alimentación o por la variabilidad genética de los animales (Barash et al., 2001).

III. EFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE LA FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA

3.1. El desarrollo y la calidad folicular

En condiciones climáticas naturales a las que son expuestas las vacas en la vida real y con replica de cada una de las épocas de estudio se observó que la mayoría de las vacas que mostraron tres ondas foliculares durante el ciclo estral (87.7 %) se concentraron en las épocas cálidas, lo que está indicando que se altera el funcionamiento de los folículos dominantes emergidos de la primera y segunda ondas de crecimiento folicular, con una pérdida anticipada de su dominancia, cuyo efecto fue más acentuado en vacas con un ciclo estral mayor a 22 días (Lozano, 2004). Esta pérdida de la dominancia se ha observado en vacas Holstein expuestas a estrés calórico en cámaras climáticas durante la primera (Badinga et al., 1993; Wolfenson et al., 1995) y la segunda mitad del ciclo estral (Trough et al., 1998; Wilson et al., 1998).

Varios estudios han determinado que la duración de la dominancia folicular está estrechamente relacionada con la fertilidad. Por una parte, se ha observado en vacas lecheras en condiciones de estrés calórico, que los folículos dominantes emergidos de una segunda onda de crecimiento folicular tuvieron más días de crecimiento, cuya característica ha sido asociada a la ovulación de folículos de mayor edad y a una menor competencia del ovocito para ser fertilizado o para desarrollar un embrión vigoroso (Badinga et al., 1993; Wolfenson et al., 1995; Trough et al., 1998; Wilson et al., 1998; Roth et al., 2000).

El hecho de haberse observado que las condiciones de estrés calórico a las que estuvieron sujetas las vacas antes y durante la época de estudio tuvieron un efecto negativo sobre la dominancia de los folículos emergidos de la primera y segunda ondas foliculares, permite suponer un posible efecto retrasado del calor sobre el desarrollo del folículo dominante (Lozano, 2004). Este efecto retrasado del calor puede comprometer las funciones de las células de la teca y de la granulosa, y por ende la calidad del folículo y del ovocito (Wolfenson et al., 1997; Roth et al. 2000; Guselloglu et al., 2001).

En vacas lecheras expuestas a estrés calórico se ha observado que cuando reciben tratamientos repetidos con factor liberador de las gonadotropinas ó se les aspira en forma frecuente los folículos mayores de 5 mm (Gozeloglu et al., 2001) y de 3 a 7 mm (Roth et al., 2001 b) durante varios ciclos estrales, se presenta un reclutamiento de folículos de mejor calidad y se incrementa el porcentaje de desarrollo embrionario hasta el estadio de blastocisto, lo que permite suponer que los folículos dañados por efectos de estrés calórico fueron eliminados con estos tratamientos.

Se ha descrito que una disminución de las concentraciones séricas de IGF-I, insulina y glucosa afectan negativamente el desarrollo y la función de las células foliculares (Lucy, 2000; Spicer et al., 2000; Driancourt, 2001). Específicamente una menor concentración de IGF-I disminuye la sensibilidad de las células foliculares a las gonadotropinas (Armstrong et al., 2001), la capacidad esteroidogénica, la división de las células de la granulosa y la tasa de crecimiento de los folículos (Beam y Butler, 1998; Bossis et al., 2000). Además, los niveles bajos de IGF-I reducen las concentraciones circulantes de P4, la síntesis de inhibina y la probabilidad de ovulación de los folículos dominantes (Staples et al., 1990; Monget y Manniaux, 1995; Webb et al., 2003).

Se ha observado que la pérdida de dominancia folicular en las vacas de tres ondas foliculares se acompañó con mayores concentraciones séricas de la hormona folículo estimulante durante el ciclo estral, cuyo efecto fue más pronunciado cuando las vacas estuvieron expuestas a estrés calórico, lo que está indicando que un efecto en la dominancia y el desarrollo de los folículos seleccionados (Lozano, 2004). Esto se ha demostrado en estudios realizados en vacas lecheras expuestas a estrés calórico, que han descrito un incremento de la concentración séricas de FSH del 8° al 13° día del ciclo estral (Roth et al., 2000) y una menor concentración circulante de estradiol (Wolfenson et al., 1995), eventos asociados con una menor concentración de inhibina (Roth et al., 2000) y una emergencia temprana del segundo folículo dominante (Wolfenson et al., 1995; Roth et al., 2000).

3.2. Efecto acarreado del calor sobre la esteroidogénesis folicular y la calidad del folículo ovulatorio

Si se toma en cuenta que el período requerido para que un folículo antral pequeño (0.13 mm) llegue a un estado preovulatorio (8.5 mm) es de aproximadamente de 41.5 días (Lussier, 1987), es muy probable que en condiciones normales muchos folículos preovulatorios del inicio del otoño pudieron ser afectados en su desarrollo inicial por las altas temperaturas del verano, y que sean inferiores en calidad a los que completan todo su desarrollo en confort térmico.

Se han realizado estudios con la finalidad de evaluar los posibles efectos de acarreo del estrés calórico sobre la esteroidogénesis folicular. En vacas Holstein lactantes con producción láctea entre 10 y 15 l / d expuestas al calor durante el verano, se observó en el día siete del ciclo estral una menor

concentración de estradiol y androstenediona en el fluido folicular del folículo dominante, que lo observado en vacas que no estuvieron expuestas al calor. Los autores concluyeron que esta diferencia estacional en la esteroidogénesis, puede deberse a un efecto directo del estrés sobre el ovario, o indirecto a través de una reducción del consumo de alimento o a modificaciones en la secreción de las gonadotropinas (Wolfenson et al., 1997).

En vacas Holstein lactantes expuestas a estrés calórico durante un ciclo estral, se observó en los primeros 10 días del siguiente ciclo en condiciones de termoneutralidad, un marcado incremento de la secreción de FSH y una reducción del número de folículos de tamaño medio, lo que fue asociado con las bajas concentraciones de inhibina observadas en el ciclo previo. Los autores proponen que los efectos inmediatos y la respuesta retrasada al estrés calórico en la fertilidad de las vacas, podrían explicarse por este mecanismo (Roth et al., 2000).

3.3. Anovulación en vacas lecheras

En un estudio realizado en Arabia Saudita, en vacas Hostein no superovuladas bajo condiciones de estrés calórico y con un promedio 110 días en leche, se observó una menor tasa de recuperación embrionaria (6 a 7 días de edad) en la época cálida (44.7%), que lo mostrado en la época templada (54.0%), lo que fue relacionado con una posible falla en la colecta de los ovocitos en la fimbria y con un incremento de vacas que presentaron doble ovulación (Ryan et al., 1993). Esto mismo, fue observado en otro estudio, donde además los autores infirieron que la menor colecta de embriones podría deberse a una posible degeneración del ovocito en el oviducto o a un disturbio en su transporte (Ayalon et al., 1988), con una mayor tasa de anovulación, con ovulaciones retrasadas (Monty y Racowsky, 1987) y con una elevada respuesta superovulatoria (Monniaux et al., 1983).

En otro estudio se observó en vacas en épocas templadas una mayor colección de óvulos y embriones (89.3 %), y una menor proporción de vacas que produjeron de 0 a 2 embriones (11.2 %), que la observada en vacas de época cálida (53.6 y 37.4 %, respectivamente), lo que pudo deberse a fallas en la ovulación (Lozano, 2004), y existe la posibilidad de que varios cuerpos lúteos detectados en la época cálida fueron en realidad folículos luteinizados, como ha sido demostrado por Bernal et al., (1999), quienes observaron en vacas Brahman superovuladas e inducidas a tener hipotiroidismo una reducción de los porcentajes de colección y un incremento del número de folículos luteinizados, sin que este evento hubiera afectado la calidad de los embriones. Se ha documentado que una menor concentración de hormonas tiroideas en las épocas cálidas (McGuire et al. 1991) puede afectar la maduración folicular y la ovulación e interferir con la secreción de la hormona luteinizante (LH), la esteroidogénesis (Spicer et al., 2001) o con la respuesta ovárica a la LH (Bernal et al., 1999).

Entre los mecanismos involucrados en el proceso ovulatorio se ha observado que un incremento de las concentraciones de IGF-I e insulina aumenta la concentración y la frecuencia de los pulsos de LH, la respuesta del folículo a la LH, la esteroidogénesis y la probabilidad de ovulación (Staples et al., 1990; Beam y Butler, 1997; Beam y Butler, 1998). Es entonces clara la existencia de un papel importante de las hormonas tiroideas, el IGF-I y la insulina sobre la función ovárica y que podrían estar inmiscuidas, en conjunto, en un problema de anovulación de las vacas durante el verano.

3.4. La función y esteroidogénesis lútea

En vacas Holstein expuestas a estrés calórico durante el verano (Howell et al., 1994) o en cámaras climáticas (Wilson et al., 1998 a) se ha observado una menor concentración sérica de progesterona (P4) del 6° al 18° día del ciclo estral (Howell et al., 1994) y una mayor extensión de la fase lútea (Wilson et al., 1998 a).

En un estudio realizado en vacas Holstein expuestas durante dos meses a condiciones climáticas del verano, se observó que los cuerpos lúteos colectados los días 11 y 16 del ciclo estral, tenían un menor número de células lúteas y que éstas tuvieron una menor producción de P4 cuando fueron incubadas con LH, en comparación con lo observado en los cuerpos lúteos de vacas que se mantuvieron en las condiciones climáticas del invierno, lo que puede reducir la capacidad de mantenimiento de la preñez en esas condiciones (Wolfenson et al. 1993). Esto se confirma al observarse que las vacas en condiciones de estrés calórico antes y durante el período final del desarrollo folicular fue detrimental para función lútea, a juzgar por las concentraciones séricas de P4, al compararlas con las de las vacas que estuvieron todo el tiempo en condiciones templadas (Lozano, 2004).

Aun cuando las concentraciones circulantes de P4 se mantienen dentro de los rangos informados como normales, el hecho de que el estrés calórico haya determinado una diferencia, es indicativo de que este puede ser uno de los mecanismos que intervienen para disminuir la fertilidad de las vacas en condiciones estresantes, como a sido informado por Biggers et al. (1987) y al demostrarse que esta hormona es uno de los principales reguladores de la síntesis del interferon tau por parte del embrión, que es importante para que se de el reconocimiento materno de la gestación.

3.5. La competencia del ovocito, la fertilización y el desarrollo embrionario

Estudios de fertilización *in vitro* con gametos de bovinos, han descrito que los eventos que ocurren antes y durante la fertilización son sensibles a las altas temperaturas, estos eventos incluyen: la reacción acrosómica, la maduración nuclear de los óvulos y la fertilización (Lenz, 1983). En ovocitos bovinos, la exposición al estrés calórico por un período de 12 a 24 horas altera la maduración citoplasmática y la distribución de los gránulos corticales en el citoplasma (Payton et al., 2001), se incrementa el porcentaje de ácidos grasos saturados en las células de la granulosa y ovocitos en los meses

cálidos, en comparación con lo observado durante el invierno (Zeron et al., 2001), lo que podría explicar, al menos en parte, la menor habilidad del ovocito para ser fertilizado y para desarrollar un embrión hasta el estadio de blastocito durante el verano.

Varios estudios *in vitro*, han indicado un posible efecto acarreado del estrés calórico sobre la maduración y capacitación del ovocito, que afecta la tasa de fertilización y el desarrollo posterior del embrión. La exposición de ovocitos a 41 ° C durante nueve horas al momento de la fertilización, reduce la proporción de los que se fertilizan, de los inician la división celular y de los que tienen un desarrollo embrionario hasta blastocito (Putney et al., 1989; Rivera y Hansen, 2001). Sin embargo, estos efectos sobre el ovocito y el desarrollo embrionario no se observaron cuando la exposición al calor fue de 40 ° C (Rivera y Hansen, 2001).

La depresión de la calidad del ovocito fue evidente en las vacas Holstein durante el verano, por lo que el estrés calórico pudo haber comprometido la capacidad del ovocito para su desarrollo temprano, involucrando la reducción de la síntesis y almacenamiento de proteínas, y una alteración en la activación de los sistemas intracelulares necesarios para apoyar el desarrollo embrionario (Al-Katanani et al. 2002 b; Sartori et al., 2002).

Se ha descrito que quizá el estrés calórico al que han sido expuestos *in vitro* los ovocitos (Edwards y Hansen, 1996), los embriones (Aréchiga et al., 1992) y las vacas en cámaras climáticas (Putney et al., 1989 a; Putney et al., 1989 b) no representa el estrés calórico a que se exponen las vacas en condiciones de campo, dadas las fluctuaciones a lo largo del día. Rivera y Hansen (2001) demostraron en estudios *in vitro* que la exposición de los embriones a temperaturas fluctuantes, similares a las registradas en las vacas en un día de verano, durante ocho días consecutivos post-inseminación redujo el porcentaje de embriones que llegaron al estadio de blastocito, por lo que los autores infirieron que las temperaturas que se dan en las vacas durante el verano son suficientes para afectar el desarrollo embrionario.

En vacas *Bos taurus* expuestas a estrés calórico se observó en ovocitos que fueron considerados como normales una menor tasa de fertilización y de desarrollo embrionario hasta el estadio de blastocito, que lo observado en ovocitos de razas con una adaptación conocida a regiones de clima cálido, lo que puede ser indicativo de la existencia de un factor intrínseco del ovocito, que pueda explicar las diferencias entre las razas tolerantes y las menos tolerantes al calor (Rocha et al., 1998).

3.6. El desarrollo embrionario temprano

La exposición del embrión a un incremento de la temperatura en forma moderada durante una hora en los primeros tres días de edad del embrión, genera cambios de la expresión génica y del sistema bioquímico intracelular, que están relacionados con la síntesis de proteínas de estrés al calor en el endometrio bovino (Malayer et al., 1988; Malayer y Hansen, 1990), que

también se observan en óvulos no maduros de ratón (Edwards, 1995) y en embriones de dos células de bovinos (Edwards y Hansen, 1996). Otra respuesta al estrés térmico es la síntesis de glutatióna en el embrión de ratón (Aréchiga et al., 1995). Esas respuestas limitan el efecto de los radicales libres generados durante el estrés calórico sobre la función celular. La respuesta celular – embrionaria para mitigar el efecto de las altas temperaturas se ha definido como inducción de la termotolerancia.

La síntesis de las proteínas de estrés calórico y glutatióna en el ovocito y en el embrión, confieren mayor capacidad al ovocito para ser fertilizado y mejoran la viabilidad del embrión para su desarrollo (Aréchiga et al., 1995, Edwards y Hansen, 1996; Edwards et al., 2001). Los niveles de glutatióna son altos durante el proceso de maduración de los ovocitos, después de la fertilización se reducen drásticamente en los embriones de dos células y continúan a la baja hasta el estadio de blastocito, que cuando se recupera la capacidad de síntesis de este antioxidante y el embrión adquiere una mayor resistencia al estrés calórico (Ealy et al., 1992).

Es por esto que la etapa de mayor sensibilidad al estrés calórico de los embriones se da en los primeros tres días de edad (Edwards y Hansen, 1996). Entre el 2º y 3er día de edad del embrión con la inducción de la termotolerancia se incrementa la síntesis de las proteínas de estrés calórico, período en que se activa el genoma embrionario en bovinos (Leibfried, 1996). Se ha establecido *in vitro* que la inducción de la termotolerancia con glutatióna y taurina incrementa la sobrevivencia de los embriones de ratón (Aréchiga et al., 1992; Aréchiga et al., 1995; Ealy y Hansen, 1994) y de bovino (Ealy et al., 1992; Ealy et al., 1995) en su fase de desarrollo temprano.

3.7. La mortalidad embrionaria tardía

El efecto del estrés calórico sobre la mortalidad embrionaria continúa más allá de los primeros tres días de edad del embrión, ya que por esa causa se ha observado una mayor incidencia de embriones retrasados (Putney et al., 1989 a; Rivera y Hansen, 2001) y una mayor mortalidad embrionaria, que se ha documentado entre los días 7º y el 14º (Biggers, et al., 1987; Dunne et al., 2000), 27º (Cartmill et al., 2001) e incluso más allá de los 30 días de edad del embrión (Putney et al., 1989 a; Drost et al., 1999).

En vaquillas superovuladas y expuestas a estrés calórico agudo en cámaras climáticas durante siete días post-inseminación, se incrementó la incidencia de embriones retrasados en su desarrollo, dando como resultado una asincronía entre el embrión y el microambiente uterino al momento de la transferencia, lo que reduce la probabilidad de gestación (Putney et al., 1989 a). En embriones que fueron expuestos a patrones de temperatura similares a los observados en vacas lactantes durante los días de verano durante los primeros ocho días post-inseminación, el porcentaje de embriones que se desarrollaron hasta el estadio de blastocito fue menor a lo observado en las vacas del grupo testigo (Rivera y Hansen, 2001).

Un embrión viable entre 15 y 17 días de edad produce la proteína trofoblástica bovina, también conocida como Interferon tau (IFN-t). El IFN-t es considerado una señal bioquímica que el embrión utiliza para inhibir la síntesis uterina de prostaglandina y se de el reconocimiento materno de la gestación (Demmers et al., 2001). En vacas Holstein (Ryan et al., 1993) y Hereford (Biggers et al., 1987) expuestas a estrés calórico se ha observado entre el 8° y 16° día del ciclo estral un menor peso del tejido lúteo y del embrión (Biggers et al., 1987) y una reducción del 32 % de embriones viables entre el 7° y el 13° día de edad (Ryan et al., 1993), lo que sugiere una reducción de la capacidad del embrión para producir IFN-t que podría ayudar a comprender la pérdida embrionaria asociada a condiciones de estrés calórico (Biggers et al., 1987).

Otro indicio de la susceptibilidad del embrión a la hipertermia materna por efectos de estrés calórico más allá del 7° día de edad del embrión, se ha demostrado tanto en vacas receptoras de embriones como en vacas con servicio de inseminación artificial. En ambos casos se ha experimentado una reducción del 15 al 40 % de la tasa de gestación de las vacas en condiciones de estrés calórico, a 40 y 42 días de edad de los embriones (Putney et al., 1989 a; Drost et al., 1999). Algunos estudios han descrito una menor sobrevivencia embrionaria en vacas lactantes por efecto de la hipertermia materna, debido probablemente a una alta producción de calor interno asociado a la lactancia (Putney et al., 1989 a; Ambrose et al., 1999 a; et al., 2002 a; Chagas et al., 2002).

3.8. La tasa de gestación de vacas receptoras de embriones

Trabajos realizados en vacas Holstein receptoras de embriones de siete días de edad en condiciones de estrés calórico han mostrado una tasa de preñez más alta, que en vacas que fueron inseminadas en las mismas condiciones ambientales, lo que confirma que los embriones transferidos habían superado la etapa del desarrollo embrionario con mayor sensibilidad al estrés calórico (Putney et al., 1989 a; Ambrose et al., 1999 a, Drost et al., 1999; Rutledge, 2001, Al-Katanni et al., 2002 a).

Algunos estudios han observado en vacas receptoras expuestas a condiciones de estrés calórico un mayor porcentaje de gestación, cuando se transfirieron embriones colectados y congelados de vacas superovuladas mantenidas en condiciones de termoneutralidad (Drost et al., 1999).

Otro estudio observó una menor tasa de gestación observada en vacas receptoras en condiciones de estrés calórico, independientemente de la época de producción y de la calidad del embrión (Lozano, 2004), lo que indica la existencia de un importante efecto materno después de la transferencia y demuestra que los embriones siguen siendo sensibles al estrés calórico que puede producir la temperatura de la madre (Biggers et al., 1987, Putney et al., 1989 a; Ryan et al., 1993; Dunne et al., 2000).

Se ha observado una mayor tasa de gestación de las vacas receptoras en condiciones de estrés calórico cuando fueron transferidos embriones frescos

y congelados desarrollados *in vivo* (Putney et al., 1989 a; Drost et al., 1999), que lo observado en los producidos *in vitro* (Drost et al., 1999; Al-Katanani et al., 2002 a). Incluso, se ha observado una reducción sensible de la tasa de gestación de las vacas receptoras, cuando los embriones producidos in vitro son congelados, en comparación a vacas receptoras que recibieron un embrión fresco (Al-Katanani et al., 2002 a).

IV. ESTRATEGIAS PARA EFICIENTAR LA REPRODUCCIÓN FAVORECER EL MANTENIMIENTO DE LA PREÑEZ EN VACAS LECHERAS

4.1. Incremento de la fertilidad

Sincronización del estro y la ovulación

En condiciones de estrés calórico, la tasa de detección del estro es baja (Cartmill et al., 2001), por lo que es recomendable un esquema de sincronización que permite dar un servicio programado, como lo es el Ovsynch. En este esquema se induce la ovulación o luteinización de los folículos grandes, se sincroniza el reclutamiento de una nueva onda folicular e induce la regresión del o los cuerpos lúteos permitiendo la maduración final y la ovulación del folículo dominante (Schmitt et al., 1996; Stevenson et al., 1999; Driancourt, 2001). Este protocolo, en vacas lecheras bajo condiciones de estrés calórico reduce los días al primer servicio, los días abiertos e incrementa la tasa de concepción del primer servicio y de la preñez acumulada a 120 días post-parto (De la Sota et al., 1998; Cartmill et al., 2001).

Otros esquemas, que han resultado exitosos son los que utilizan una sincronización del estro previa al Ovsynch. Así, se ha demostrado en vacas lecheras con un alto nivel de producción que una pre-sincronización con un luteolítico y GnRH (Peters y Pursley, 2002; Borman et al., 2003), aumentan en más del 40% la tasa de ovulación de un folículo apto para ser fertilizado (Borman et al., 2003), y se incrementa el porcentaje de vacas con mayor concentración circulante de P4 tres días después de haber iniciado el Ovsynch (Peters y Pursley, 2002), comparado con esquemas donde las vacas no fueron pre-sincronizadas. En protocolos de Ovsynch, La suplementación con progesterona en vacas lecheras a través de la aplicación de un dispositivo intravaginal que libera esta hormona (CIDR) ha incrementado la tasa de concepción, en comparación a lo observado en el grupo de vacas que recibieron solamente el tratamiento tradicional de Ovsynch (Pursley et al., 2001).

Uso de la somatotropina bovina

Con el protocolo de inseminación artificial programada se ha eliminado el factor limitante que representa la falta de manifestación del estro en épocas cálidas, y se ha podido evaluar el efecto de la somatotropina (bST) sobre la

concepción en vacas lecheras. En un trabajo realizado en vacas Hostein en buenas condiciones de salud, se observó un incremento del porcentaje de concepción del primer servicio sincronizado y el porcentaje acumulado de vacas gestantes a 120 y 365 días post-parto, cuando se administraron la bST y el protocolo de Ovsynch en forma simultánea a los 63 días post-parto y con la aplicación programada de bST cada 14 días, que lo observado en vacas que iniciaron el tratamiento de bST a los 105 días post-parto. Lo que ha sugerido un efecto benéfico de la bST sobre el desarrollo de los folículos pre-ovulatorios (Moreira et al., 2000).

Varios estudios han observado en vacas con tratamientos de bST al inicio del celo (Moreira et al., 2000) y 10 días después del servicio (Bilby et al., 1998; Morales-Roura et al., 2001), un incremento en la tasa de preñez de las vacas repetidoras y de las vacas receptoras de embriones (Moreira et al., 2002). El efecto favorable de bST también se ha manifestado aumentando el porcentaje de embriones transferibles y disminuyendo el número de ovocitos no fertilizados en vacas superovuladas (Moreira et al., 2000; Moreira et al., 2001; Moreira et al., 2002). Este efecto benéfico de la bST, que involucra al IGF-I, parece estar asociado con el proceso de la maduración final del ovocito y del desarrollo folicular (Moreira et al., 2000; Morales-Roura et al., 2001).

El uso de bST después de la inseminación tiene un efecto positivo sobre la tasa de preñez, mejora el desarrollo del cuerpo lúteo e incrementa la producción de P4 (Moreira et al., 1999; Moreira et al. 2000). En vacas no gestantes la bST puede adelantar la emergencia de una segunda onda folicular (Kirby et al., 1997) e incrementar la incidencia de una tercera onda durante el ciclo estral, la cual esta asociada a una mayor concepción (Townson et al., 2002).

Mejora de la calidad folicular y del ovocito

Tratamientos con el factor liberador de las gonadotropinas (GnRH) y la remoción de los folículos desarrollados en condiciones de estrés calórico, permite la emergencia de nuevos folículos saludables en menos tiempo e incrementa el porcentaje de embriones que se desarrollan al estadio de blastocito, en comparación con lo observado en vacas testigo no sujetas a estrés calórico (Guzeloglu et al., 2001; Roth et al., 2001b).

Se ha descrito en vacas en épocas templadas que la ovulación de folículos procedentes de un tercer desarrollo folicular, parece ser benéfico para incrementar la fertilidad en vacas lecheras, ya que el crecimiento rápido de los folículos ovulatorios evitan los efectos detrimentales que se dan en los ovocitos con un desarrollo folicular prolongado (Revah y Butler, 1996; Townson et al., 2002). Tratamientos con gonadotropina coriónica humana (hCG) en el día cinco del ciclo estral, además de estimular la función lútea, inducen una nueva onda de crecimiento folicular e incrementan los ciclos de tres ondas foliculares, disminuye la probabilidad de tener folículos grandes

persistentes y altamente estrogénicos e incrementa la tasa de gestación (Díaz et al. 1998).

Uso de antioxidantes

La vitamina E y el β -caroteno son antioxidantes liposolubles, cuya principal función biológica es proteger a los ácidos grasos polinsaturados de la membrana celular, de la peroxidación lipídica por parte de las especies reactivas de oxígeno. En estudios *in vitro*, se ha observado un incremento del 63 % del área de la superficie de los embriones que fueron cultivados con vitamina E, cuando son recuperados siete días después de su transferencia a vacas no lactantes o a vaquillas, que lo observado en los embriones testigo (Olson y Seidel, 2000). *In vivo* se ha observado en vacas superovuladas, que la terapia de cinco aplicaciones de vitamina E y selenio mejora la calidad y el desarrollo de embriones al séptimo día de edad (Martín-Castañeda, 2004).

La administración de vitamina E en vacas Holstein lactantes al momento del servicio incrementa la tasa de gestación en épocas cálidas (Ealy et al., 1994; Lozano et al., 1999). Sin embargo, en otros estudios no se encontró este efecto al momento del servicio (Ealy et al., 1994 b), ni a los 30 días después del parto (Aréchiga et al. 1998 a).

En vacas Holstein se han observado efectos positivos de la suplementación de β -caroteno durante el post-parto temprano al obtener un útero más saludable y cuerpos lúteos con una mayor concentración de P4 (Rodríguez et al., 2002). En estudios de campo la suplementación de β -caroteno por más de 90 días en vacas lecheras durante la época de estrés calórico incrementó 14 % la tasa de gestación a los 120 días post-parto, con respecto al grupo de vacas sin suplementación (Aréchiga et al., 1998 b).

Sin embargo, en otro estudio realizado en las mismas condiciones climáticas se observó que la oferta de β -caroteno 15 días antes del primer servicio no tuvo ningún impacto sobre la tasa de concepción, lo que pudo ser debido a un período insuficiente de suplementación, lo que podría deberse a que generalmente la concepción del primer servicio en vacas lecheras es baja, independientemente de las condiciones de clima imperantes, ya que es en este período cuando las vacas se encuentran aún en un balance de energía negativo y en su mayor nivel de producción, por lo que se tienen menos folículos de gran tamaño y se incrementan las fallas de la ovulación (Aréchiga et al., 1998 b).

4.2. Mantenimiento de la gestación

Incremento de las concentraciones plasmáticas de progesterona

La mayoría de los estudios en vacas lecheras en condiciones de estrés calórico han demostrado que el empleo de GnRH en el día del servicio o en el 7° u 11° día de edad del embrión reduce el riesgo del mecanismo luteolítico en vacas que llevan un embrión y se incrementan las

concentraciones séricas de P4 y la tasa de gestación (Ullah et al., 1997; Lozano et al., 1999).

En vacas repetidoras un incremento de la concentración sérica de progesterona, a través de la administración diaria de P4 del 6° al 10° día del ciclo estral, se ha asociado con una mayor tasa de gestación (Thuemmel et al., 1992). En vacas Holstein mantenidas en estrés calórico y en programas de sincronización del estro y de la ovulación, la administración de 100 µg de GnRH en los días 5 y 11 del ciclo estral incrementó la cantidad de tejido lúteo, la concentración plasmática de progesterona en el día 17 post-inseminación y el porcentaje de vacas gestantes (Willard et al., 2003).

En vacas lecheras con un alto nivel productivo la administración de gonadotropina coriónica humana en el día cinco del ciclo estral, induce la ovulación de la primera onda folicular y causa la formación de cuerpos lúteos funcionales accesorios, con lo que se incrementa la concentración sérica de P4 en la fase lútea y la tasa de gestación (Sianangama et al., 1992; Díaz et al., 1998). La presencia de un cuerpo lúteo adicional en vacas lactantes disminuye el riesgo de que se presente una mortalidad embrionaria entre los 38 y 90 días de gestación (Binelli et al., 2001; López-Gatius et al., 2002), y se incrementa en .25 puntos porcentuales la viabilidad del embrión por cada unidad de incremento en el número de cuerpos lúteos (Thuemmel et al., 1992).

4.3. Empleo de la transferencia embrionaria

Varios trabajos realizados en vacas Holstein receptoras de embriones en condiciones de estrés calórico han observado una tasa de preñez más alta, que la de vacas que fueron inseminadas en las mismas condiciones ambientales, lo que confirma que los embriones transferidos habían superado la etapa de desarrollo embrionario con mayor sensibilidad al estrés calórico (Putney et al., 1989 a; Ambrose et al., 1999 a, Drost et al., 1999; Rutledge, 2001, Al-Katanni et al., 2002 a). Las vacas receptoras de embriones frescos han mostrado una mayor tasa de gestación, comparado a la observada en vacas que recibieron embriones congelados. Los embriones generados por fertilización *in vitro* han sido los que han tenido una menor tasa de gestación de receptoras (Ambrose et al., 1999 a; Drost et al., 1999).

Algunos autores han descrito, que la introducción de esquemas para la sincronización de la ovulación en las vacas receptoras de embriones frescos, producidos *in vivo* o *in vitro* y expuestas a estrés calórico incrementa el porcentaje de gestación (Ambrose et al., 1999 a; Bo et al., 2001; Al-Katanani et al., 2002).

4.4. Manejo nutricional

El proceso de digestión de la fibra es una fuente importante de producción de calor y mayor que la generada por la de las grasas o de los carbohidratos no fibrosos. Así, la alimentación con dietas altas en fibra durante el verano puede aumentar significativamente el calor generado por la vaca. Uno de los

objetivos en épocas de estrés calórico es alimentar con una mínima pero adecuada cantidad de fibra, lo que mejora el consumo de materia seca, la producción de leche y ayuda a reducir la producción de calor, cuidando al mismo tiempo la alta calidad de la fibra, ya que es indispensable para el mantenimiento de la función normal del rumen y el incremento de la producción de leche (Shearer, 1996).

El mejoramiento del estatus energético durante el período de transición y durante la fase de lactancia temprana tiene como objetivo mover a las vacas a un balance positivo de energía (Beam y Butler, 1997; Butler, 2000). Estudios realizados en vacas lecheras en condiciones de estrés calórico en Arizona (Hubber, 1994) y Missouri, E.U. (Hubber, 1993) han observado que cuando se alimenta con un alto contenido de proteína cruda (PC) (18.5 %) y con una alta proporción de proteína degradable (PD) en la dieta (65% de la PC), se presenta una reducción del consumo de materia seca y de la producción de leche. Basado en lo anterior, se recomienda que la alimentación de las vacas lecheras en épocas con estrés calórico no debiera exceder del 61% de PD. Los autores explican que cuando se dan dietas altas en PD, la motilidad y la tasa de pasaje del alimento por el rumen declinan, con lo que se incrementa el tiempo de estancia de la proteína y su degradación a amoníaco, que tiene un costo energético para su eliminación y provoca un aumento en la producción de calor.

Dado y Allen (1994) informaron de una correlación de 0.94 y 0.96 entre el consumo de agua y la producción de leche y el consumo de materia seca, respectivamente. Se ha descrito que en un medio ambiente caluroso las vacas reducen su consumo de agua, porque reducen también el consumo de materia seca y la actividad física (West, 1996). Como estrategia, el agua, además de limpia y fresca, debe de estar cerca del área de alimentación para que se estimule el consumo del alimento y del agua misma (Sternier, 1986).

Entre otras estrategias de alimentación se encuentran incrementar la frecuencia de la oferta de alimento, ofrecer alimento fresco después de la ordeña y cuando las vacas han sido enfriadas con aspersores, ya que estas prácticas estimulan el consumo de materia seca. Al agregarle entre el 3 y 5% de agua al alimento integral se aumenta su gustocidad. Así mismo, la adición de amortiguadores a la dieta como el bicarbonato de sodio durante el estrés calórico, previenen la reducción del pH ruminal y estimula el consumo de materia seca y por ende de la producción de leche (Lin, 1997).

4.5. Modificaciones al medio ambiente

Una estrategia comúnmente utilizada para reducir el efecto del calor en los animales ha sido el proveer sombreaderos, rociadores o nebulizadores de agua y ventiladores (Flamenbaum et al., 1986; Flamenbaum et al., 1995). Las ventajas de los sombreaderos se han documentado desde hace medio siglo (Johnson and Yeck, 1964) y se han generado y evaluado diseños mejorados en cuanto a su eficiencia (West, 1995).

El uso de rociadores asociados con ventilación se ha generalizado en las explotaciones intensivas modernas de las zonas áridas. Cuando este tipo de enfriamiento se utiliza con una frecuencia de cinco veces al día la temperatura corporal de los animales se ha mantenido en un rango aceptable, entre 38.2 y 38.8° C (Flamenbaum et al., 1986), y ha incrementado el porcentaje de vacas gestantes (Thatcher, 1974; Wolfenson et al., 1988). Otro aspecto a tomar en cuenta son las acciones de refrescamiento alrededor del día del servicio que conlleva a tener una mayor tasa de fertilización, desarrollo y viabilidad del embrión, ya que se ha demostrado que tres días antes del servicio y 10 días después del mismo son las etapas críticas del embrión (Ealy et al., 1995; Hansen, 1997).

4.6. Aspectos genéticos

En la práctica, los enfoques genéticos para mejorar la fertilidad bajo estrés térmico han sido incipientes. En ganado de carne, la heredabilidad de la habilidad de mantener la temperatura rectal ha arrojado valores entre 0.25 y 0.65 (Finch, 1986), lo que denota la posibilidad de que esta característica se mejore a través de la selección, aún cuando seleccionar por tolerancia al calor puede conducir a preferir vacas con menor consumo voluntario de alimento y menor producción de leche. Como se ha demostrado por la mayor adaptabilidad al estrés calórico de algunas razas de bovinos, Bos indicus y Bos taurus en relación a la competencia del ovocito para ser fertilizado (Rocha et al., 1998; Hernández et al., 2004).

V. LITERATURA CITADA Y FUENTE.

<https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/reproduccion-vacas-lecheras-afectada-t41008.htm>



MÁS ARTÍCULOS