

# GRASA DE SOBREPASO EN OVEJAS CON DIFERENTE ESPESOR DE GRASA DORSAL, RESPUESTA HORMONAL Y PRINCIPALES VARIABLES REPRODUCTIVAS

## Bypass Fat in Ewes with Different Thickness of Dorsal Fat, Hormonal Response and Main Reproductive Variables

Rafael Nieto<sup>1</sup>, María Teresa Sánchez-Torres<sup>1\*</sup>, Octavio Mejía<sup>2</sup>, Lorenzo Olivares<sup>3</sup>, J. Jesús Peralta<sup>4</sup>, José Luis Cordero<sup>1</sup>, Pedro Molina<sup>1</sup> y Mario Cárdenas<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Orientación Ganadería, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados.

C.P. 56230. Montecillo, Estado de México. \*E-mail: teresa@colpos.mx.

<sup>2</sup>Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Ovina, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Universidad Nacional Autónoma de México. Tres Marías, Municipio de Huitzilac. C.P. 62515.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. <sup>4</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hidalgo.

<sup>5</sup>Laboratorio de Biología de la Reproducción, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Tlalpan, México D.F.

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la grasa de sobrepaso en ovejas con bajo (1 a 2 mm) y alto (3 a 4 mm) espesor de grasa dorsal y sincronización de estro (inicio y duración), niveles séricos de hormona luteinizante (LH), estradiol (E<sub>2</sub>), progesterona (P<sub>4</sub>) e insulina (INS), porcentaje de gestación y prolificidad. Cincuenta y nueve ovejas, con dos niveles de grasa dorsal determinado mediante ultrasonografía, bajo y alto (GDb, GDa), sin y con la adición de 150 g de grasa de sobrepaso (0 y 150 g), respectivamente, se asignaron a los siguientes grupos: GDb+0 g (n = 16), GDb+150 g (n = 14), GDa+0 g (n = 14) y GDa+150 g (n = 15). Las ovejas se sincronizaron con esponjas de acetato de fluorogesterona (FGA, 20 mg) por 12 d y, dos días antes de su remoción se aplicó 15 mg de PGF<sub>2α</sub>. El diseño fue completamente al azar con un arreglo factorial 2X2, los resultados fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS. No se encontraron diferencias (P>0,05) para las variables inicio y duración del estro, inicio y duración del pico pre-ovulatorio de LH y prolificidad, por efecto de la adición de la grasa; sin embargo, la amplitud del pico de LH y el porcentaje de gestación fueron diferentes entre tratamientos (P<0,05). La concentración de P<sub>4</sub> en suero fue mayor (P<0,05) en ovejas sin la adición de grasa (0 g). Las concentraciones de E<sub>2</sub> e INS se incrementaron (P<0,05) en ovejas con GDa. Se

concluye que la adición de grasa de sobrepaso no modificó la respuesta en las variables reproductivas, pero si disminuyó la concentración de P<sub>4</sub>. Por otro lado, las concentraciones de E<sub>2</sub> e INS se incrementaron en ovejas con GDa, lo cual se atribuye a un mejor estado metabólico, nutricional y corporal del animal.

**Palabras clave:** *Ovis aries*, grasa de sobrepaso, reproducción, progesterona, LH.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of bypass fat in ewes with low (1-2 mm) and high (3-4 mm) dorsal fat thickness and estrous synchronization on estrous presentation (beginning and duration) and seric levels of luteinizing hormone (LH), estradiol (E<sub>2</sub>), progesterone (P<sub>4</sub>) and insulin (INS), gestation rate and prolificity. Fifty nine ewes with two levels of dorsal fat thickness determined by ultrasonography, low and high (DFI, DFh), without and with addition of 150 g of bypass fat (0 and 150 g), respectively, were assigned to the following treatments: DFI +0 g (n=16), DFI +150 g (n=14), DFh+0g (n=14) and DFh+150 g (n=15). All ewes were synchronized with fluorogesterone acetate impregnated sponges (FGA, 20 mg) for 12 d and two days before sponge removal received 15 mg of PGF<sub>2α</sub>. Experimental design was a 2X2 factorial arrangement and results were analyzed by SAS. There were no differences (P>0.05) for beginning and duration of estrous, begin-

ning and duration of preovulatory LH surge and prolificity due to the addition of bypass fat, however, LH amplitude and gestation rate were different between treatments ( $P < 0.05$ ).  $P_4$  seric concentrations were greater ( $P < 0.05$ ) on ewes without addition of bypass fat (0g).  $E_2$  and INS concentration were increased ( $P < 0.05$ ) on DFh ewes. It is concluded that addition of bypass fat does not modify reproductive variables response, but decreased  $P_4$  concentration. On the other hand,  $E_2$  and INS concentration were increased in ewes with high dorsal fat (DFh), which is attributed to a better metabolic, nutritional and corporal of the animal.

**Key words:** *Ovis aries*, bypass fat, reproduction, progesterone, LH.

## INTRODUCCIÓN

El estado nutricional y corporal presente en los animales domésticos repercute directamente sobre su actividad reproductiva [8, 39]. Los cambios en la reserva corporal y en el nivel del consumo de alimento se relacionan con alteraciones en la secreción de gonadotropinas, dinámica folicular, tasa ovulatoria y desarrollo embrionario [4, 16, 36]. El uso de grasas en la alimentación de rumiantes tiene como objetivo incrementar el contenido de energía en la dieta [12], sin embargo, recientemente se ha dado más importancia al tipo de ácidos grasos debido a que se ha demostrado su impacto en los procesos reproductivos.

Los mecanismos mediante los cuales la nutrición afecta los procesos reproductivos no están bien determinados en su totalidad, pero se estima que son mediados por cambios en los niveles de hormonas metabólicas [31]. Las concentraciones séricas de insulina se consideran una de las principales señales del estado metabólico del animal, que pueden alterar la frecuencia y la concentración de hormona luteinizante [7], además de mejorar la respuesta ovárica al interactuar con glucosa y leptina [40].

En rumiantes, la actividad reproductiva es asociada con la disponibilidad de energía [12, 28], aunque la respuesta hormonal se modifica de acuerdo a la fuente energética (grasas y aceites de origen animal y vegetal). La adición de grasa en la dieta incrementa las concentraciones de colesterol en circulación, las cuales originan una mayor síntesis de progesterona en las células luteales que se asocian con aumento en la tasa de concepción [30].

Actualmente, se hace énfasis en una alimentación estratégica, suplementando ovejas (*Ovis aries*) con alimentos ricos en proteína y energía por períodos cortos (5-7 d) durante los días 9 al 13 del ciclo estral, con el propósito de cambiar el estado metabólico y nutricional del animal e incrementar la tasa ovulatoria [34, 42]. Por esa razón, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de grasa de sobrepaso por un período de siete días en ovejas con diferente espesor

de grasa dorsal, observando la respuesta en el inicio y la duración del estro, concentración en suero de hormona luteinizante, estradiol, progesterona e insulina, así como el porcentaje de gestación y la prolificidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó del 15 de octubre al 10 del diciembre de 2007, en la granja experimental del Colegio de Postgraduados, localizada en Montecillo, estado de México, a  $98^{\circ} 53' O$  y  $19^{\circ} 29' N$ , a 2.250 msnm. El clima es templado subhúmedo con una precipitación media anual de 632,5 mm durante el verano y una temperatura anual entre  $12$  y  $18^{\circ}C$  [13].

Se utilizaron 59 ovejas de las razas Dorset, Suffolk y sus cruces, cinco meses después del parto, con una edad de  $3,5 \pm 0,5$  años. Para clasificar las ovejas en base a su espesor de grasa dorsal (GD) se utilizó el equipo de ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 y un transductor de 7,5 Mhz (Medison, Inc., Cypress, California, EUA); la medida se realizó en posición perpendicular a la línea media dorsal, entre la doceava y treceava costilla [33]. Las mediciones de 1 a 2 mm se relacionaron con ovejas de grasa dorsal baja (GDb) y las mediciones de 3 a 4 mm con ovejas de grasa dorsal alta (GDa). Durante el experimento se realizaron tres mediciones: una al inicio del estudio para determinar el estado corporal de los animales, la segunda durante el consumo de la grasa de sobrepaso y la última, al término del período de la complementación con grasa de sobrepaso.

Las ovejas clasificadas de acuerdo al espesor de grasa dorsal, en baja (GDb) y alta (GDa), fueron adicionadas sin (0 g) o con (150 g) grasa de sobrepaso, para constituir los siguientes tratamientos: 1) Ovejas con grasa dorsal baja sin grasa de sobrepaso (GDb + 0g,  $n = 16$ ); 2) Grasa dorsal baja más grasa de sobrepaso (GDb + 150 g,  $n = 14$ ); 3) Grasa dorsal alta sin grasa de sobrepaso (GDa + 0g,  $n = 14$ ); y 4) Grasa dorsal alta más grasa de sobrepaso (GDa + 150 g,  $n = 15$ ).

En los cuatro tratamientos, las ovejas se alimentaron con heno de avena (*Avena sativa*) *ad libitum* y 600 g de alimento comercial con 14% de proteína cruda (PC) y 2,4 Mcal  $kg^{-1}$  de energía metabolizable (EM). Sólo en los tratamientos 2 y 4 (GDb + 150 g y GDa + 150 g) se adicionó 150 g de grasa de sobrepaso (Megalac<sup>®</sup>) con 1,1 Mcal  $kg^{-1}$  de EM durante un período de siete días antes del retiro de la esponja intravaginal.

La sincronización del estro se realizó mediante el uso de una esponja intravaginal de poliuretano por oveja, impregnada con 20 mg de acetato de fluorogesterona (FGA, Chronogest<sup>®</sup>, Intervet), por un período de 12 d. Dos días antes del retiro de la esponja, se aplicó 15 mg de prostaglandinas  $F_{2\alpha}$  (Lutalyse<sup>TM</sup>-Pfizer) por vía intramuscular.

La detección del estro se inició 24 h después del retiro de la esponja con ayuda de machos con mandil, posteriormen-

te se monitoreó cada 4 h, durante 72 h, para determinar la duración y término del estro. Las hembras se aparearon mínimo dos veces utilizando machos de fertilidad comprobada, en intervalos de 12 h. El retorno al estro se detectó entre 15 a 18 días después de efectuado el apareamiento, dos veces al día (mañana y tarde). La gestación se confirmó a 30 días del apareamiento, con un equipo de ultrasonido Sonovet 600 y un transductor de 7,5 Mhz por vía transrectal.

Muestras de sangre (5 mL) fueron colectadas directamente de la vena yugular para determinar las concentraciones de LH y  $E_2$ , iniciando 24 h después del retiro de la esponja de FGA, en períodos de 4 h por 3 d. Para determinar las concentraciones de  $P_4$ , las muestras se colectaron cada 48 h, iniciando dos días antes de la inserción de la esponja y durante la fase luteal sincronizada (14 d). Las concentraciones de INS se monitorearon diariamente, al término de cada comida y durante un lapso de 7 días, período correspondiente a la adición de grasa de sobrepaso, antes del retiro de la esponja. Todas las muestras se centrifugaron durante 15 min a 908 g en una centrífuga (IEC Centra 8R, International Equipment Company, EUA) para separar el suero sanguíneo, el cual fue almacenado en tubos de polipropileno y se conservó a  $-20^{\circ}\text{C}$  en un congelador (Tappan EUR251P7W, Electrolux Home Products North America, EUA) hasta realizar el análisis hormonal.

#### Análisis hormonal

La determinación de las concentraciones de LH se realizó mediante radioinmunoanálisis (RIA) con doble anticuerpo [27], la sensibilidad fue de  $0,7 \text{ ng mL}^{-1}$ , con coeficientes de variación intra e inter ensayo de 5,7 y 5,4%. El inicio y la duración del pico preovulatorio se obtuvo mediante la técnica de Van Cleeff y col. [38] y la amplitud del pulso preovulatorio de LH según Mattioli y col. [24]. Las concentraciones de  $E_2$  se determinaron mediante RIA con una sensibilidad de  $8 \text{ pg mL}^{-1}$  y coeficientes de variación intra e inter ensayo de 1,1 y 1,6%. La determinación de las concentraciones de INS se realizó por RIA con una sensibilidad de  $4,09 \text{ ng mL}^{-1}$  y coeficientes de variación intra e inter ensayo de 1,44 y 0,25%. La medición de las concentraciones de  $P_4$  se realizó por ensayo inmunoenzimático (EIA) de Immunometrics (UK Ltd, 280 Muster Road, London SW6 6BQ, Inglaterra) con sensibilidad de  $0,13 \text{ ng mL}^{-1}$  con coeficientes de variación intra e inter ensayo de 9,59 y 13,7%, respectivamente.

#### Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial  $2 \times 2$ , donde los efectos principales fueron la grasa dorsal y la administración de grasa de sobrepaso, con dos niveles: grasa dorsal baja y alta, sin y con la adición de grasa de sobrepaso, respectivamente. Las variables  $P_4$  y  $E_2$  no se distribuyeron normalmente (Shapiro-Wilk) por lo que se les aplicó una prueba de bondad de ajuste (LOG). Los resultados de las hembras que presentaron estro y quedaron gestantes, se analizaron con una prueba de Ji-cuadrado por medio del

PROC FREQ del SAS [35]. Para determinar el inicio y la duración de estros, así como el pulso y la amplitud del pico preovulatorio de LH, se utilizó el PROC GLM y la prueba de comparación de medias de Tukey [35].

Para las mediciones de grasa dorsal y los resultados de  $E_2$ , INS y  $P_4$  se realizó un análisis de mediciones repetidas a través del tiempo por medio del procedimiento PROC MIXED del SAS [22]. Valores medios fueron comparados por el método de medias de mínimos cuadrados [17].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Espesor de grasa dorsal

El espesor de grasa dorsal se mantuvo diferente ( $P>0,05$ ) entre los grupos GDb y GDa hasta el final del periodo experimental ( $2,5 \pm 0,05$  vs  $3,2 \pm 0,06$  mm, respectivamente), no obstante, las ovejas del grupo GDb presentaron un incremento en la medida de grasa dorsal al término de la adición de la grasa de sobrepaso comparado con el grupo GDa, aunque esto no fue significativo ( $P>0,05$ ;  $2,8 \pm 0,08$  vs  $3,1 \pm 0,08$  mm, respectivamente). Estos datos muestran que aún cuando no hubo diferencia entre los grupos que recibieron o no grasa de sobrepaso y el período de suplementación fue corto, se manifestó una deposición de grasa corporal en las ovejas con GDb, generando una mejor condición corporal.

### Presentación, inicio y duración del estro

La presentación del estro (100% en grupos GDb + 0 g, GDa + 0g, GDa + 150 g y 92,8% en GDb + 150 g) no fue diferente entre tratamientos ( $P>0,05$ ), sin embargo, éstos resultados fueron similares (100% de presentación de estros) a los encontrados por Urviola y col. [37], utilizando 30 mg de FGA durante 12 días y por Ali [2], con 40 mg de FGA por ocho días, aplicando 500 UI de eCG (gonadotropina coriónica equina) dos días antes de retirar la esponja. No obstante, los porcentajes de estros obtenidos con 20 mg de FGA en este estudio fueron mayores al 87% de estros reportado por Mustafa y col. [26] quienes redujeron a cuatro días el tiempo de permanencia de la esponja con 40 mg del progestágeno FGA, aplicando 500 UI de eCG al momento del retiro de la esponja, durante el período de anestro, atribuyendo que la baja presentación de estros fue debida a una inadecuada secreción de  $E_2$ .

En lo que respecta al inicio y duración del estro (TABLA I) no hubo diferencia entre tratamientos ( $P>0,05$ ). Ali [2] observó un inicio de estro de  $32 \pm 5,6$  h, después de retirada la esponja, mientras que Mustafa y col. [26] reportan un inicio de estro de  $34,5 \pm 2,6$  h, cuando administraron 500 UI de eCG; en ambos estudios el uso de eCG indujo a una temprana presencia de estro, sugiriendo que la eCG influye en el desarrollo de folículos de mayor tamaño, por lo tanto, hay una mayor secreción de estrógenos. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Zeleke y col. [43] quienes observaron una duración del estro de  $18,7 \pm 1,7$  h en ovejas Dorper, aplicando una do-

sis de 300 UI de eCG, 24 h antes del retiro de la esponja (40 mg de FGA), durante el período de anestro. Esta reducción de la duración del estro, posiblemente se deba al uso de eCG, cuya función es proporcionar FSH y LH necesarias para el desarrollo del folículo, lo cual induce a una ovulación anticipada y, en consecuencia, una menor duración del estro. Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la grasa de sobrepaso y la grasa dorsal no alteran la presentación y la duración del estro en ovejas sincronizadas con FGA.

### Caracterización del pulso pre-ovulatorio de LH

Con respecto al inicio y duración del pico pre-ovulatorio de LH, no se encontró diferencia ( $P>0,05$ ) por efecto de grasa dorsal y por la adición de grasa de sobrepaso. Los resultados para inicio del pico de LH son similares a los reportados por Quirke y col. [29] con  $37,6 \pm 1,19$  h, aunque difieren en la duración ( $8,1 \pm 0,9$  h) en ovejas adultas que recibieron 500 UI de eCG. No obstante, en esta investigación la amplitud del pico pre-ovulatorio de LH fue diferente entre tratamientos ( $P<0,05$ , TABLA I).

Si bien la presencia de LH es necesaria para completar el crecimiento de folículos pre-ovulatorios, diversas investigaciones indican que este proceso puede ser influenciado por modificaciones en la dieta o por periodos prolongados de desnutrición e incluso por cambios en la reserva corporal [32]. El ayuno por cinco días en ovejas, durante la fase lútea, disminuye la magnitud del pico pre-ovulatorio de LH ( $35,5 \pm 5,4$  ng mL<sup>-1</sup>), comparado con la magnitud de pico obtenido en ovejas alimentadas ( $59,9 \pm 4,8$  ng mL<sup>-1</sup>) [19]. En contraste, la restric-

ción de dietas energéticas en ovejas ovariectomizadas no afecta la síntesis y secreción de GnRH y LH, sin embargo, cuando los animales presentan una condición corporal por debajo de 2 (escala 1 a 9), la secreción de LH disminuye de forma abrupta [36]. Se ha reportado un incremento en concentración de LH inducida por GnRH el día 10 del ciclo en borregas pelibuey que recibieron 2,5 y 5% de grasa protegida y esta respuesta fue afectada por la dosis de la misma [11]. Por otra parte, el uso de grasa protegida (Megalac®, 2,2% de la dieta) en la alimentación de vacas Holstein (*Bos taurus*) multiparas, durante los primeros 60 días posparto, no modifica la concentración y la amplitud de LH, sin embargo, el balance de energía determinado en los animales fue asociado con el incremento en la amplitud de los pulsos de LH conjuntamente a un aumento en el número de folículos de mayor diámetro [23].

En éste experimento, el espesor de la grasa dorsal y la adición de grasa de sobrepaso, afectaron la variabilidad en la amplitud del pico pre-ovulatorio de LH, presentado por la totalidad de las ovejas.

### Progesterona (P<sub>4</sub>)

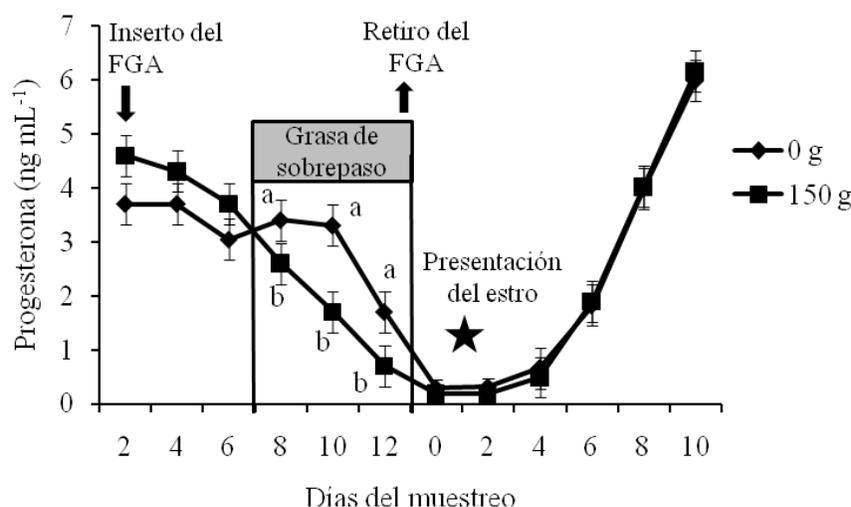
El espesor de grasa dorsal de las ovejas no afectó la concentración de P<sub>4</sub> en suero ( $P>0,05$ ), sin embargo existieron diferencias durante la adición de grasa de sobrepaso (0 g  $2,74 \pm 0,2$  vs 150 g  $2,58 \pm 0,2$  ng mL<sup>-1</sup>,  $P<0,05$ ) del día 6 al 12 (día 0 = día del estro) de la fase lútea sincronizada con FGA (FIG. 1). Estos datos difieren con lo obtenido por algunos autores [9, 11], donde las concentraciones de P<sub>4</sub> en borregas fueron menores en hembras testigo, comparadas con las que re-

TABLA I  
RESPUESTA DE LAS VARIABLES REPRODUCTIVAS EN OVEJAS CON DIFERENTE ESPESOR DE GRASA DORSAL ADICIONADAS CON GRASA DE SOBREPASO DURANTE LA SINCRONIZACIÓN DEL ESTRO CON ESPONJAS DE FGA / REPRODUCTIVE VARIABLES ON EWES WITH DIFFERENT THICKNESS OF DORSAL FAT ADDED WITH BYPASS FAT DURING THE SYNCHRONIZATION OF ESTRUS WITH FGA SPONGES

Variables reproductivas	Tratamientos			
	GDb+0 g (n=16)	GDb+150 g (n=14)	GDa+0 g (n=14)	GDa+150 g (n=15)
Presentación del estro (%)	100 (16/16)	92,8 (13/14)	100 (14/14)	100 (15/15)
Inicio del estro (h) <sup>†</sup>	40 ± 7,8	34,8 ± 7	38,5 ± 12,4	37,06 ± 9,9
Duración del estro (h) <sup>†</sup>	36 ± 5,4	35,7 ± 8,5	37,1 ± 10,3	37,6 ± 7,9
Inicio de la elevación de LH (h) <sup>†</sup>	45,5 ± 3,5	37,4 ± 2,8	40,5 ± 2,9	40,5 ± 2,8
Pico de LH (h) <sup>†</sup>	50,5 ± 3,5	42,2 ± 2,8	45,1 ± 3	45,3 ± 2,9
Duración del pico de LH (h) <sup>†</sup>	5 ± 0,5	4,8 ± 0,4	4,5 ± 9,9	4,8 ± 0,4
Amplitud del pico de LH (ng mL <sup>-1</sup> ) <sup>†</sup>	253,7 ± 51,7 <sup>a</sup>	81,2 ± 18,8 <sup>b</sup>	96,5 ± 26,6 <sup>b</sup>	138,7 ± 21,9 <sup>ab</sup>
Gestantes (%) <sup>2</sup>	68,75 <sup>b</sup> (11/16)	85,7 <sup>ab</sup> (12/14)	100 <sup>a</sup> (14/14)	73,7 <sup>ab</sup> (11/15)
Índice de prolificidad <sup>3</sup>	1,09	1,25	1,28	1,20

GDb + 0 g = grasa dorsal baja sin adicionar grasa de sobrepaso. GDb + 150 g = grasa dorsal baja adicionada con grasa de sobrepaso. GDa + 0 g = grasa dorsal alta sin adicionar grasa de sobrepaso. GDa + 150 g = grasa dorsal alta adicionada con grasa de sobrepaso. FGA = acetato de fluorogesterona.

<sup>1</sup> Tiempo referido al retiro de la esponja de FGA. <sup>2</sup> Basado en los perfiles de P<sub>4</sub> en suero y ultrasonografía en el día 30. <sup>3</sup> Número de corderos nacidos por oveja parida. <sup>a, b</sup> Valores con distinta literal entre columnas son diferentes ( $P<0,05$ ). <sup>†</sup> Medias ± error estándar.



**FIGURA 1. CONCENTRACIÓN DE PROGESTERONA (MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR), EN OVEJAS ADICIONADAS CON (150 g, N=29) Y SIN (0 g, N=30) GRASA DE SOBREPASO. a,b VALORES CON DISTINTA LITERAL SON DIFERENTES (P<0,05) / PROGESTERONE CONCENTRATION (MEAN ± STANDARD ERROR) ON EWES ADDED WITH (150 g, N=29) AND WITHOUT (0 g, N=30) BYPASS FAT. a,b VALUES WITH DIFFERENT LETTERS ARE DIFFERENT (P<0,05).**

cibieron grasa de sobrepaso (ácidos grasos de cadena larga con sales de calcio).

Se ha reportado que la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta reducen la concentración de  $P_4$  en plasma [30], éste efecto podría ser mediado por una secreción temprana de prostaglandinas (PG)  $F_{2\alpha}$ , debido a que los ácidos grasos poliinsaturados tienen la capacidad de estimular la síntesis de  $PGF_{2\alpha}$  a través de competencia enzimática, en particular por el ácido linoleico, principal sustrato en la conversión del ácido araquidónico y precursor de las  $PGF_{2\alpha}$  [25].

Por otra parte, existen reportes indicando la presencia de receptores para oxitocina y prostaglandina  $F_{2\alpha}$  en el cuerpo lúteo (CL) de vacas (*Bos taurus*) que responden a la  $PGF_{2\alpha}$  exógena entre los días 3 y 5 del ciclo estral [41], de igual forma, se ha comprobado la luteólisis del CL en ovejas que recibieron 0,175 mg de  $PGF_{2\alpha}$  en el día 4, sugiriendo que este efecto es mediado por el  $E_2$  secretado en los folículos reclutados en la nueva oleada folicular, aunado a un menor efecto inhibitor de la  $P_4$  durante esta etapa del ciclo estral [37].

Por lo tanto, la rápida caída en la concentración de  $P_4$  encontrada en el presente estudio, durante la adición de grasa de sobrepaso, posiblemente se debió a una secreción anticipada de  $PGF_{2\alpha}$ , originando la regresión del CL, no obstante, posterior al estro sincronizado, las ovejas desarrollaron un nuevo CL funcional, sin alteraciones en el ciclo estral de la oveja.

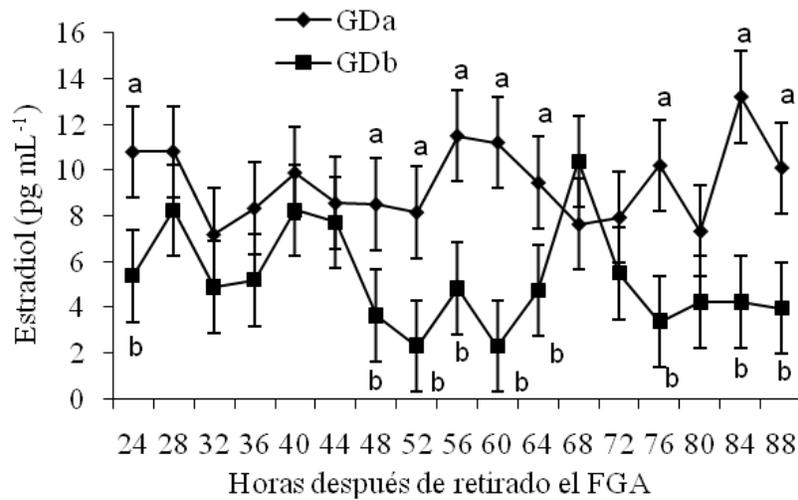
#### Concentración de estradiol ( $E_2$ ) e insulina (INS) en suero

Las concentraciones de  $E_2$  en suero no presentaron diferencia ( $P>0,05$ ) por la adición de grasa de sobrepaso; pero sí fueron diferentes por el espesor de grasa dorsal (GDa  $15,4 \pm 11,8$  vs GDb  $5,1 \pm 11,8$  pg mL<sup>-1</sup>,  $P<0,05$ ) durante las 24 h pos-

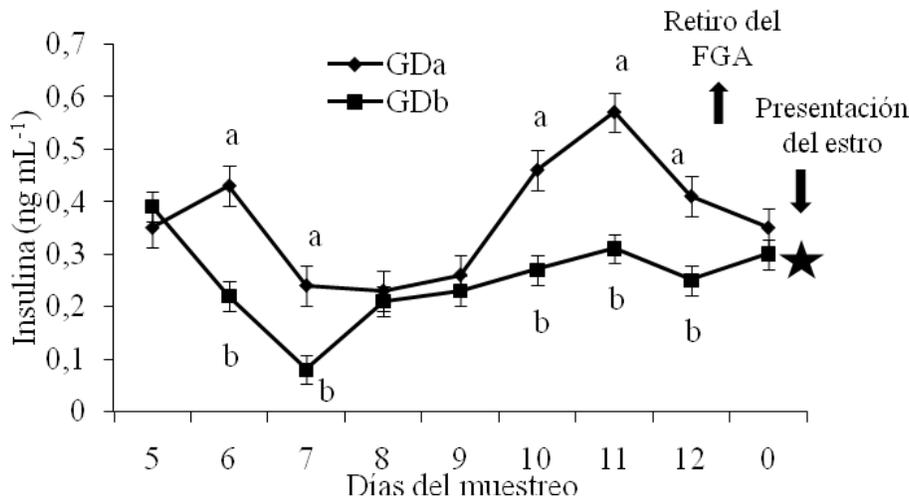
teriores al retiro de FGA, antes y después del pico preovulatorio (FIG. 2). De igual forma, las ovejas con GDa presentaron una mayor concentración de INS en suero comparada con las ovejas de GDb (GDa  $0,37 \pm 0,02$  vs GDb  $0,25 \pm 0,02$  ng mL<sup>-1</sup>,  $P<0,05$ ) durante los días 6 al 7 y 10 al 12 (día 0 = día del estro) de la fase lútea sincronizada con FGA (FIG. 3).

En el presente estudio, el adicionar grasa de sobrepaso durante la sincronización del estro con FGA, no modificó la concentración de INS en suero; sin embargo, se ha reportado que la suplementación con grasa protegida (Megalac®) en ovejas Pelibuey y vacas Holstein disminuye las concentraciones de INS en suero [11, 14], esto podría deberse al bajo consumo de materia seca ocasionado por el efecto negativo de las grasas en la fermentación ruminal, por lo tanto, se sugiere que el bajo consumo de carbohidratos estructurales ocasiona la disminución del porcentaje molar de propionato, un potente liberador de INS en rumiantes, lo cual posiblemente explica el decremento de INS en suero, posterior al consumo de las grasas [5, 6].

La relación entre INS y la actividad reproductiva en rumiantes es compleja y varía acorde a la etapa de su ciclo reproductivo, sexo, consumo y balance de energía, además del estado fisiológico del animal [3, 15]; no obstante, en ésta investigación las ovejas con GDa presentaron una mayor concentración de INS. Se menciona que animales (jóvenes y adultos) con mayor cantidad de tejido graso, incluyendo rumiantes, secretan una mayor cantidad de leptina, la cual participa como señal metabólica del estado nutricional, sin embargo, en corderos durante la etapa postnatal, la secreción de leptina parece ser más influenciada por la nutrición que por la adiposidad, presentando una correlación positiva ( $r=0,75$ ) entre las concentraciones de INS y leptina en plasma, sugiriendo que este efecto es mediado por la disponibilidad de energía, teniendo a



**FIGURA 2. CONCENTRACIÓN DE ESTRADIOL (MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR), EN OVEJAS CON GRASA DORSAL ALTA (GDa, N=31) Y BAJA (GDb, N=28). a,b VALORES CON DISTINTA LITERAL SON DIFERENTES (P<0,05) / ESTRADIOL CONCENTRATION (MEAN ± STANDARD ERROR) ON EWES WITH DORSAL FAT HIGH (GDa, N=31) AND LOW (GDb, n=28). a,b VALUES WITH DIFFERENT LETTERS ARE DIFFERENT (P<0,05).**



**FIGURA 3. CONCENTRACIÓN DE INSULINA (MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR), EN OVEJAS CON GRASA DORSAL ALTA (GDa, N=31) Y BAJA (GDb, N=28). a,b VALORES CON DISTINTA LITERAL SON DIFERENTES (P<0,05) / INSULIN CONCENTRATION (MEAN ± STANDARD ERROR) ON EWES WITH DORSAL FAT HIGH (GDa, N=31) AND LOW (GDb, N=28). a,b VALUES WITH DIFFERENT LETTERS ARE DIFFERENT (P<0,05).**

la glucosa como la principal fuente de carbonos para la síntesis de lípidos [10].

Estudios *in vitro* muestran que la glucosa, el piruvato y la INS son capaces de estimular la síntesis y liberación de leptina en adipocitos de ratas [21], aunque las concentraciones de leptina en sangre no se alteran en respuesta a periodos cortos (2 h) de glucosa e INS [18].

Por otra parte, se estima que el incremento de E<sub>2</sub> se debe a que ovejas con GDa posiblemente presentaron folículos de mayor tamaño, ya que la producción de E<sub>2</sub> está relacionada con el tamaño folicular [34], resultados similares se encontraron en vacas Holstein suplementadas con grasa protegida (215 g día<sup>-1</sup> Megalac®)[42].

Es importante resaltar que las ovejas con GDa mantuvieron elevada la concentración de E<sub>2</sub> posterior al pico preovulatorio de LH (45,1 ± 3 h), lo cual sugiere que este grupo de hembras inició de forma temprana el reclutamiento de folículos para su nueva oleada folicular, dado que se ha reportado que ovejas con condición corporal de 4 (en escala de 1 a 5) presentan más oleadas foliculares comparadas con ovejas que se encuentran por debajo de esta condición [39].

Por lo tanto, el incremento de INS y E<sub>2</sub> en ovejas con GDa, probablemente se deba a que este grupo de hembras presentaban diferente estado metabólico y nutricional comparado con las ovejas del grupo GDb. Sin embargo, es importante continuar investigando la respuesta en hormonas metabólicas.

cas para entender claramente la relación entre los aspectos nutricionales y reproductivos con la finalidad de mejorar la fertilidad en los animales domésticos.

### Gestación y prolificidad

Los resultados del índice de prolificidad no presentaron diferencias atribuibles a los efectos grasa dorsal y adición de grasa de sobrepaso, sin embargo, el porcentaje de gestación fue diferente entre tratamientos de GDa y GDb sin la adición de grasa de sobrepaso. Estos datos sugieren que el adicionar grasa de sobrepaso a borregas con diferente espesor de grasa dorsal mejora los porcentajes de gestación, aún cuando en este trabajo no se presentaron diferencias (TABLA I,  $P < 0,05$ ).

El estado nutricional y la condición corporal son indicadores del bienestar animal que influyen sobre la eficiencia reproductiva [8], por el contrario, la desnutrición induce cambios en la sensibilidad del endometrio a hormonas esteroideas, durante los primeros días de gestación, lo que altera de forma negativa el ambiente uterino y por lo tanto, la sobrevivencia del embrión [1].

Los resultados de gestación obtenidos en la presente investigación son semejantes a los reportados por Mustafa y col. [26], con 91,6% de gestación, pero mayores a los encontrados por Ali [2], con 41,6% de gestación, quienes utilizaron 40 mg de FGA por ocho d y 500 UI de eCG en dos periodos (48 h antes de retirar la esponja y al momento del retiro), concluyendo que el uso de eCG mejora la tasa ovulatoria pero no así el porcentaje de gestación.

El índice de prolificidad no presentó diferencias entre tratamientos, aunque son parecidos a los presentados por Mustafa y col. [26] con un índice de prolificidad de 1,18 y 1,25, respectivamente. Se estima que esta variable es dependiente de la raza del animal, por ser un factor heredable, ya que cada hembra es fisiológicamente apta para mantener determinado número de crías [20]. Sin embargo, el porcentaje de gestación y el índice de prolificidad obtenidos en éste estudio, presentan resultados aceptables en relación al tratamiento hormonal utilizado, lo que sugiere el desarrollo de cuerpos lúteos funcionales y un incremento de la progesterona secretada, la cual fue necesaria para dar al endometrio las condiciones adecuadas durante la implantación del embrión y para el mantenimiento de la gestación.

### CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente experimento, el adicionar grasa de sobrepaso durante la sincronización del estro no modificó la respuesta en las principales variables reproductivas, sin embargo, disminuyó la concentración de  $P_4$  en suero. Por otro lado, ovejas con GDa mostraron incrementos en la concentración de INS y  $E_2$ , lo cual se atribuye a un mejor estado metabólico, nutricional y corporal presente en este grupo de animales.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABECIA, J.A.; SOSA, C.; FORCADA, F.; MEIKLE, A. The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. **Reprod. Nutr. Dev.** 46: 367-378. 2006.
- [2] ALI, A. Effect of time of eCG administration of follicular response and reproductive performance of FGA-treated Ossimi ewes. **Small Rum. Res.** 72: 33-37. 2007.
- [3] BECÚ-VILLALOBOS, D.; GARCÍA-TORNADÚ, I.; SHROEDER, G.; SALADO, E.E; GAGLIOSTRO, G.; DELAVALAUD, C.; CHILLIARD, Y.; LACAU-MENGIDO, I.M. Effect of fat supplementation on leptin, insulin-like growth factor I, growth hormone, and insulin in cattle. **Can. J. Vet. Res.** 71: 218-225. 2007.
- [4] BOLAND, M.P.; LONERGAN, P.; O'CALLAGHAN, D. Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology, and oocyte and embryo development. **Theriogenol.** 55: 1323-1340. 2000.
- [5] CHOI, B.R.; PALMQUIST, D.L. High fat diets increase plasma cholecystokinin and pancreatic peptide, and decrease plasma insulin and feed intake in lactating cows. **J. Nutr.** 126: 2913-2919. 1996.
- [6] CHOI, B.R.; PALMQUIST, D.L.; ALLEN, M.S. Cholecystokinin mediates depression of feed intake in dairy cattle fed high fat diets. **Dom. Anim. Endocrinol.** 19: 159-175. 2000.
- [7] DOWNING, J.A.; SCARAMUZZI, R.J. The effect of the insulin during the luteal phase of the cycle on the ovulation rate and on the plasma concentrations of LH, FSH, and glucose in ewes. **Theriogenol.** 47: 747-759. 1997.
- [8] DUNN, T.G.; MOSS, E. Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. **J. Anim. Sci.** 70: 1580-1593. 1992.
- [9] EL-SHAHAT, K.H.; AMAL, M.; ABO-EL, M. The effect of dietary supplementation with calcium salts of long chain fatty acids and/or L-carnitine on ovarian activity of Rahmani ewes. **Anim Reprod Sci.** 117:78-82. 2010.
- [10] EHRHARDT, R.A.; GREENWOOD, P.L.; BELL, A.W.; BOISCLAIR, Y.R. Plasma leptin is regulated predominantly by nutrition in prepubertal lambs. **J. Nutr.** 133: 4196-4201. 2003.
- [11] ESPINOZA, J.L.; RAMÍREZ-GODÍNEZ, J.A.; SIMENTAL, S.S.; JIMÉNEZ, J.; RAMÍREZ, R.; PALACIOS, A.; DE LUN, R. Effects of calcium soaps of fatty acids on serum hormones and lipid metabolites in Pelibuey ewes. **Small Rum. Res.** 26: 61-68. 1997.
- [12] FUNSTON, R.N. Fat supplementation and reproductive in beef females. **J. Anim. Sci.** 82: E154-E161. 2004.

- [13] GARCÍA, E. **Distribución de los grupos climáticos de Köppen en México. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen** (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Primera parte. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 4 Ed. México D.F. 217 pp.1988.
- [14] GARNSWORTHY, P.C.; LOCK, A.; MANN, G.E.; SINCLAIR, K.D.; WEBB, R. Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 2. Dietary fatty acids and ovarian function. **J. Dairy. Sci.** 91: 3824-3833. 2008.
- [15] GARNSWORTHY, P.C.; FOULADI-NASHTA, A.A.; MANN, G.E.; SINCLAIR, K.D.; WEBB, R. Effect of dietary-induced changes in plasma insulin concentration during the early postpartum period on pregnancy rate in dairy cows. **Reprod.** 137: 759-768. 2009.
- [16] GUERRA-GARCÍA, M.; MEZA-HERRERA, C.A.; SÁNCHEZ-TORRES, T.; GALLEGOS-SÁNCHEZ, J.; TORRES-HERNÁNDEZ, G.; PRO-MARTÍNEZ, A. IGF-I actividad ovárica de cabras en condición corporal divergente y con un suplemento de proteína no degradable en rumen. **Agrocien.** 43: 241-247. 2009.
- [17] HERRERA, H.J.G.; BARRERAS, S.A. Diseño con mediciones repetidas. **Manual de procedimientos: Análisis estadístico de experimentos pecuarios.** Diseños con Mediciones Repetidas. 2da. Ed. México. 215 pp. 2005.
- [18] KAUTER, K.; BALL, M.; KEARNEY, P.; TELLAM, R.; MCFARLANE, J.R. Adrenaline, insulin and glucagon do not have acute effects on plasma leptin levels in sheep: development and characterization of an ovine leptin ELISA. **J. Endocrinol.** 166: 127-135. 2000.
- [19] KIYMA, Z.; ALEXANDER, B.M.; VAN KIRK, E.A.; MURDOCH, W.J.; HALLFORD, D.M.; MOSS, G.E. Effects of feed restriction on reproductive and metabolic hormones in ewes. **J. Anim. Sci.** 82: 2548-2557. 2004.
- [20] LÉON, J.M.; ZAMORA, R.; PUNTAS, J.; DELGADO, J.V.; BENAVENTE, M.; BARBA, C.; LOBILLO, J. Estudio de la prolificidad en la oveja Segureña. Resultados preliminares. **Arch. Zoot.** 54: 443-446. 2005.
- [21] LEVY, J.R.; STEVENS, W. The effects of insulin glucose, and pyruvate on the kinetics of leptin secretion. **Endocrinol.** 142 (8): 3558-3562. 2001.
- [22] LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **J. Anim. Sci.** 76: 1216-1231. 1998.
- [23] LUCY, M.C.; STAPLES, C.R.; MICHEL, F.M.; THATCHER, W.W. Effect of feeding calcium soaps to early postpartum dairy cows on plasma prostaglandin  $F_{2\alpha}$  luteinizing hormone, and follicular growth. **J. Dairy. Sci.** 74: 483-489. 1991.
- [24] MATTIOLI, M.; CONTE, F.; GALEATI, G.; SEREN, E. Effect of naloxone on plasma concentration of prolactin and LH in lactating sows. **J. Reprod. Fert.** 76: 167-173. 1986.
- [25] MATTOS, R.; STAPLES, C.R.; THATCHER, W.W. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. **Rev. Reprod.** 5: 38-45. 2000.
- [26] MUSTAFA, Q.H.; ABABNEH, M.M.; ABU-RUMAN, D.S. The effects of short or long term FGA treatment with or without eCG on reproductive performance of ewes bred out-of-season. **Am. J. Anim. Vet. Sci.** 2 (1): 23-28. 2007.
- [27] NISWENDER, G.D.; REICHERT, L.E.; MIDGLEY, A.R.; NALBANDOV, A.V. Radioimmunoassay for bovine and ovine luteinizing hormone. **Endocrinol.** 84 (5): 1166-1173. 1969.
- [28] O'CALLAGHAN, D.; YAAKUB, H.; HYTTEL, P.; SPICER, L.J.; BOLAND, M.P. Effects of nutrition and superovulation on oocyte morphology, fluid composition and systemic hormone concentrations in ewes. **J. Reprod. Fert.** 118: 303-313. 2000.
- [29] QUIRKE, J.F.; HANRAHAN, J.P.; GOSLING, P.J. Duration of oestrus, ovulation rate, time of ovulation and plasma LH, total oestrogen and progesterone in Galway adult ewes and ewe lambs. **J. Reprod. Fert.** 61: 265-272. 1981.
- [30] ROBINSON, R.S.; PUSHPAKUMARA, P.G.A.; CHENG, Z.; PETERS, A.R.; ABAYASEKARA, D.R.E.; WATHES, D.C. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. **Reprod.** 124: 119-131. 2002.
- [31] SCARAMUZZI, R.J.; CAMPBELL, B.K.; DOWNING, J.A.; KENDALL, N.R.; KHALID, M.; MUÑOZ-GUTIÉRREZ, M.; SOMCHIT, A. A review of effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. **Reprod. Nutr. Dev.** 46: 339-354. 2006.
- [32] SCHILLO, K.K. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in the cattle and sheep. **J. Anim. Sci.** 70: 1271-1282. 1992.
- [33] SILVA, S.R.; GOMES, M.J.; DIAS-DA SILVA, A.; GIL, L.F.; AZEVEDO, J.M.T. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. **J. Anim. Sci.** 83: 350-357. 2005.
- [34] SOMCHIT, A.; CAMPBELL, B.K.; KHALID, M.; KENDALL, N.R.; SCARAMUZZI, R.J. The effect of short-term nutritional supplementation of ewes with lupin grain

- (*Lupinus luteus*), during the luteal phase of the estrous cycle on the number of ovarian follicles and the concentrations of hormones and glucose in plasma and follicular fluid. **Theriogenol.** 68: 1037-1044. 2007.
- [35] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. SAS User's Guide: Statistics (Version 5). Cary, N.C. U.S.A. 584 pp. 1982.
- [36] TATMAN, W.R.; JUDKINGS, M.B.; DUNN, T.G.; MOSS, G.E. Luteinizing hormone in nutrient-restricted ovariectomized ewes. **J. Anim. Sci.** 68: 1097-1102. 1990.
- [37] URVIOLA, M.; LEYVA, V.; HUAMÁN, H.; GARCÍA, W. Manipulación de la ovulación del folículo dominante con prostaglandina en diferentes estadios del ciclo estral sobre las tasas reproductivas en ovinos Corriedale. **Rev. Inv. Vet. Perú** 16 (2): 103-113. 2005.
- [38] VAN CLEEFF, J.; KARSH, F.J.; PADMANABHAN, V. Characterization of endocrine events during the periestrous period in sheep after estrous synchronization with controlled internal drug release (CIDR) device. **Dom. Anim. Endocrinol.** 15 (1): 23-34. 1998.
- [39] VIÑOLES, C.; FORSBERG, G.; BANCHERO, G.; RUBIANES, E. Ovarian follicular dynamics and endocrine profiles in Polwarth ewes with high and low body condition. **Anim. Sci.** 74: 539-545. 2002.
- [40] VIÑOLES, C.; FORSBERG, M.; MARTIN, G.B.; CAJARVILLE, C.; REPETTO, J.; MEIKLE, A. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition effects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. **Reprod.** 129: 299-303. 2005.
- [41] WILTBANK, M.C.; SHIAO, T.F.; BERGFELT, D.R.; GINTHER, O.J. Prostaglandin F2 alpha receptors in the early bovine corpus luteum. **Biol. Reprod.** 52: 74-78. 1995.
- [42] ZACHUT, M.; ARIELI, A.; LEHRER, H.; ARGOV, N.; MOALLEM, U. Dietary unsaturated fatty acids influence preovulatory follicle characteristics in dairy cows. **Reprod.** 135: 683-692. 2008.
- [43] ZELEKE, M.; GREYLING, J.P.C.; SCHWALBACH, L.M.J.; MULLER, T.; ERASMUS, J.A. Effect of progestagen and PMSG on estrus synchronization and fertility in Dorper ewes during the transition period. **Small Rum. Res.** 56: 47-53. 2005.