



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**“ESTRATEGIA SOCIO SEXUAL Y FARMACOLÓGICA
PARA RESTABLECER LA ACTIVIDAD OVÁRICA
POSTPARTO EN OVEJAS DE PELO”**

SILVIA FRAIRE CORDERO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

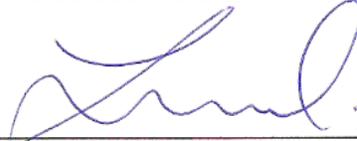
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

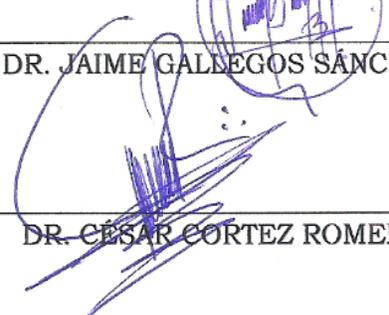
La presente tesis, titulada: **“Estrategia socio sexual y farmacológica para restablecer la actividad ovárica postparto en ovejas de pelo”**, realizada por la alumna: **Silvia Fraire Cordero**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

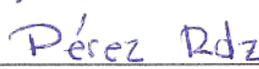
DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JUAN SALAZAR ORTIZ

ASESOR: 
DR. JAIME GALLEGOS SÁNCHEZ

ASESOR: 
DR. CÉSAR CORTEZ ROMERO

ASESOR: 
DR. PAULINO PÉREZ RODRÍGUEZ

ASESOR: 
DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESORA: 
DRA. CAMELIA ALEJANDRA HERRERA CORREDOR

Montecillo, Texcoco, México, Septiembre de 2015

Estrategia socio sexual y farmacológica para restablecer la actividad ovárica postparto en ovejas de pelo

Silvia Fraire Cordero, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2015.

Se realizaron tres estudios para determinar la respuesta reproductiva y productiva postparto de ovejas de pelo al uso de “efecto macho” y a un protocolo de inducción del estro con la aplicación de un reconstituyente metabólico (R; Metabolice®) y Somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®). En el primer estudio, 120 hembras y sus corderos, fueron asignados al azar a T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC+R ($n = 29$), T3: AC+Efecto Macho (EM; $n = 32$) y T4: AC+R+EM ($n = 30$). En el segundo, 94 hembras y sus corderos fueron asignados al azar a T1: AC ($n = 29$), T2: AC+R ($n = 29$), T3: AC+rBST ($n = 17$) y T4: R+rBST ($n = 19$). En el tercero, 97 hembras y sus corderos fueron asignados al azar a T1: AC ($n = 29$), T2: AC+EM ($n = 32$), T3: AC+rBST ($n = 17$) y T4: AC+EM+rBST (T4; $n = 19$). Se observó el porcentaje de ovulación a los 29 y 50 días postparto, cambios de peso en ovejas y corderos, incidencia e inicio del estro, retorno, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad. Para el primer estudio, el porcentaje de ovulación a los 29 días fue mayor para T3 y T4. Los cambios de peso en ovejas y corderos fueron diferentes en los periodos. El inicio del estro fue menor para T1 y T2. Gestación y parición fue mayor para T2. Para el estudio dos, el porcentaje de ovulación a los 29 días fue mayor para T4. A los 50 días fue mayor T1 y T2. El cambio de peso corporal fue diferente para tratamientos en corderos y periodo e interacción tratamiento por periodo en ovejas y corderos. T3 fue menor para incidencia, inicio del estro y fertilidad, pero mayor para retorno. T2 fue mayor para gestación, parición y fecundidad. Para el estudio tres, los mayores porcentajes de ovulación a los 29 días fueron para T2 y T4. A los 50 días, fueron mayores y similares T1, T2 y T4. El cambio de peso corporal fue diferente para tratamientos en corderos y periodo e interacción tratamiento por periodo en ovejas y corderos. Para incidencia y fecundidad T3 fue menor. El inicio del estro fue igual y menor para T1 y T4. El “efecto macho” durante 25 días influyó para restablecer la actividad ovárica de las ovejas en anestro postparto antes de los 29 días. El uso de un reconstituyente metabólico, puede utilizarse para mejorar la eficiencia reproductiva de las ovejas dentro de un protocolo de inducción del estro por cinco días, sin afectar los pesos de ovejas y corderos. La aplicación de rBST en general afecta las variables reproductivas y el peso corporal de las ovejas, pero mejora el peso corporal de los corderos.

Palabras clave: postparto, efecto macho, somatotropina, reconstituyente.

Strategy socio sexual and pharmacological to restore ovarian activity postpartum in hair sheep

Silvia Fraire Cordero, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2015.

Three studies were conducted to determine the postpartum reproductive and productive response of hair sheep to the use of " male effect " and a protocol for induction of estrus with the implementation of a metabolic tonic (R; Metabolase®) and recombinant bovine somatotropin (rBST ; BOOSTIN - S®). In the first study , 120 females and their lambs were randomly assigned to T1: continuous suckling (AC ; n = 29) , T2 : AC + R (n = 29) , T3 : AC + Effect Male (EM ; n = 32) and T4 : AC + R + MS (n = 30) . In the second, 94 females and their lambs were randomly assigned to T1 : AC (n = 29) , T2 : AC + R (n = 29) , T3 : AC + rBST (n = 17) and T4 : R + rBST (n = 19) . In the third, 97 females and their lambs were randomly assigned to T1 : AC (n = 29) , T2 : AC + MS (n = 32) , T3 : AC + rBST (n = 17) and T4 : AC + EM + rBST (T4 ; n = 19). The ovulation rate was observed at 29 and 50 days postpartum weight changes in sheep and lambs, incidence and onset of estrus, return, fertility, gestation, parturition, fecundity and prolificacy. For the first study, the percentage of ovulation at 29 days was greater for T3 and T4. Weight changes in sheep and lambs were different in periods. The estrus was reduced to T1 and T2. Pregnancy and calving was higher for T2. For the study two, the ovulation rate at 29 days was higher for T4. At 50 days was higher T1 and T2. The body weight change was different in lambs and treatment period and interaction treatment period in sheep and lambs. T3 was lower for incidence, onset of estrus and fertility, but more to return. T2 was higher for pregnancy, calving and fecundity. For the study three, the highest percentages of ovulation at 29 days were for T2 and T4. At 50 days, they were higher and similar T1, T2 and T4. The body weight change was different in lambs and treatment period and interaction treatment period in sheep and lambs. For incidence and fecundity T3 was lower. The estrus was equal and lower for T1 and T4. The "male effect" for 25 days influenced to restore ovarian activity in postpartum anoestrus sheep before 29 days. Using a metabolic tonic, it can be used to improve reproductive efficiency of sheep within a protocol of induction of estrus for five days, without affecting the weights of sheep and lambs. The application of rBST generally affects reproductive variables and body weight of the sheep, but improves the body weight of the lambs.

Key words: postpartum, male effect, somatotropin, restorative.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACyT) por la beca-crédito otorgada, para la realización de mis estudios de doctorado.

Al **Colegio de Postgraduados** por darme la oportunidad de realizar los estudios de doctorado.

Al **Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología** (COMECyT) por la beca para la finalización de la tesis.

Al **Dr. Jaime Gallegos Sánchez**, por la oportunidad y la confianza que me brindó para trabajar dentro de su línea de investigación. Por su amistad, enseñanzas, consejos y apoyo en todos los sentidos.

Al **Dr. Juan Salazar Ortiz**, por ser parte importante para mí entrada al Colpos, por sus consejos y apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Al **Dr. César Cortez Romero**, por el tiempo invertido en la revisión de la tesis y por las sugerencias hechas a la misma.

Al **Dr. Paulino Pérez Rodríguez**, por su apoyo y atenta colaboración en el análisis de los datos, además de las sugerencias hechas a la misma.

Al **Dr. Ponciano Pérez Hernández**, por el tiempo invertido en la revisión de la tesis, así como por los consejos aportados a mi persona.

Ala **Dra. Alejandra Herrera Corredor**, por las sugerencias en la revisión de la presente tesis.

A mis amig@s por su apoyo y compartir conmigo alegrías, tristezas, planes y sueños.

A mis compañer@s del Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa), por su gran apoyo durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIA

A **Dios** por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres **María † y Adolfo †**, que a pesar de ya no estar conmigo físicamente, agradezco las enseñanzas que me han dejado ¡Los amo!

A mis hermanos **José Ángel** y **Javier**, por ver en ustedes un gran espíritu de superación.

A mis hermanas **Rosalva, Lourdes** y **Guadalupe**, por sus consejos, apoyo y por ese gran amor que nos une.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. PERIODO POSTPARTO	3
2.2. ENDOCRINOLOGÍA DEL PERIODO POSTPARTO	4
2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PERIODO POSTPARTO	6
2.3.1. Amamantamiento.....	6
2.3.1.2. POEs y amamantamiento.....	8
2.3.2. Efecto macho	9
2.3.2.1. Edad y experiencia sexual.....	14
2.3.2.2. Tiempo de contacto	14
2.3.3. Nutrición	16
2.3.3.1. Hormonas metabólicas y su relación con GnRH/LH	17
2.3.3.1.1. Insulina.....	17
2.3.3.1.2. Factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-I)	18
2.3.3.1.3. Leptina	20
2.3.3.1.4. Neuropeptido Y	21
2.3.3.1.5. Propiomelanocortina (POMC).....	21
2.3.3.1.6. Kisspeptina.....	21
2.3.3.2. Aminoácidos excitadores	22
2.3.4. Hormonas exógenas	23
2.3.4.1. Progestágenos	24
2.3.4.2. Prostanoides	25
2.3.4.3. Somatotropina Bovina Recombinante (rBST)	25
2.3.4.3.1. IGF-I en la foliculogénesis	27
2.3.4.3.2. IGF-I en el desarrollo embrionario.....	27
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
IV. ESTUDIO I. “Efecto macho” y un reconstituyente metabólico en ovejas de pelo durante el postparto.....	31
4.1. RESUMEN	31
4.2. INTRODUCCIÓN.....	32
4.3. MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.3.1. Ubicación.....	33
4.3.2. Animales.....	33
4.3.3. Manejo de ovejas y corderos	33
4.3.4. Tratamientos	34
4.3.5. Alimentación y alojamiento	34

4.3.6. Manejo de carneros.....	35
4.3.7. Toma de muestras sanguíneas	35
4.3.8. Protocolo de inducción al estro.....	36
4.3.9. Inseminación por laparoscopia.....	37
4.3.10. Medición de Fertilidad.....	37
4.3.11. Diagnóstico de gestación.....	37
4.3.12. Variables de respuesta	38
4.3.13. Análisis estadístico	40
4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.4.1. Porcentaje de ovulación.....	42
4.4.2. Incidencia e inicio al estro.....	44
4.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad	46
4.4.4. Porcentaje de gestación y parición.....	48
4.4.5. Fecundidad y prolificidad.....	49
4.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos	49
4.5. CONCLUSIONES	52
V. ESTUDIO II. Reconstituyente metabólico y somatotropina bovina recombinante (rBST) en ovejas de pelo durante el postparto.....	53
5.1. RESUMEN	53
5.2. INTRODUCCIÓN.....	54
5.3. MATERIALES Y MÉTODOS	55
5.3.1. Ubicación.....	55
5.3.2. Animales.....	55
5.3.3. Manejo de ovejas y corderos	55
5.3.4. Tratamientos	56
5.3.5. Alimentación y alojamiento	56
5.3.6. Aplicación de somatotropina bovina recombinante	57
5.3.7. Toma de muestras sanguíneas	57
5.3.8. Protocolo de inducción al estro.....	58
5.3.9. Inseminación por laparoscopia.....	59
5.3.10. Medición de Fertilidad.....	60
5.3.11. Diagnóstico de gestación.....	60
5.3.12. Variables de respuesta	61
5.3.13. Análisis estadístico	62
5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
5.4.1. Porcentaje de ovulación.....	65
5.4.2. Incidencia e inicio al estro.....	67
5.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad	69
5.4.4. Porcentaje de gestación y parición.....	71
5.4.5. Fecundidad y prolificidad.....	73

5.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos	74
5.5. CONCLUSIONES	77
VI. ESTUDIO III. “Efecto macho” y somatotropina bovina recombinante (rBST) en ovejas de pelo durante el postparto.....	78
6.1. RESUMEN	78
6.2. INTRODUCCIÓN	79
6.3. MATERIALES Y MÉTODOS	80
6.3.1. Ubicación.....	80
6.3.2. Animales.....	80
6.3.3. Manejo de ovejas y corderos	80
6.3.4. Tratamientos	81
6.3.5. Alimentación y alojamiento	81
6.3.6. Manejo de carneros.....	82
6.3.7. Aplicación de somatotropina bovina recombinante	82
6.3.8. Toma de muestras sanguíneas	82
6.3.9. Protocolo de inducción al estro.....	83
6.3.10. Inseminación por laparoscopia	84
6.3.11. Medición de Fertilidad.....	85
6.3.12. Diagnóstico de gestación	85
6.3.13. Variables de respuesta	86
6.3.14. Análisis estadístico	87
6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	90
6.4.1. Porcentaje de ovulación.....	90
6.4.2. Incidencia e inicio al estro.....	92
6.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad	95
6.4.4. Porcentaje de gestación y parición.....	95
6.4.5. Fecundidad y prolificidad	96
6.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos	98
6.5. CONCLUSIONES	100
VII. DISCUSIÓN GENERAL	101
VIII. CONCLUSIONES GENERALES.....	116
IX. RECOMENDACIONES	117
X. LITERATURA CITADA	118
XI. ANEXOS	129

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	42
Cuadro 2. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	44
Cuadro 3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	47
Cuadro 4. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	48
Cuadro 5. Fecundidad y prolificidad (Medias ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®)	49
Cuadro 6. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolase®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	65
Cuadro 7. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolase®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).....	67
Cuadro 8. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolase®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).....	70
Cuadro 9. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolase®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	72
Cuadro 10. Fecundidad y prolificidad (Medias ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico	

(Metabolase®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	73
Cuadro 11. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	90
Cuadro 12. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).....	92
Cuadro 13. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	95
Cuadro 14. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST Boostin-S®)	96
Cuadro 15. Fecundidad y prolificidad (Medias ± error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	97

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Esquema hipotético que representa el mecanismo endócrino-neuroendocrino del anestro postparto	5
Figura 2. Esquema hipotético que representa el mecanismo endócrino-neuroendocrino del efecto macho	12
Figura 3. Esquema hipotético que representa el mecanismo endócrino-neuroendocrino de la nutrición, tomando en cuenta solo a las hormonas metabólicas leptina, insulina e IGF-I.....	19
Figura 4. Esquema del protocolo de investigación en el estudio I.....	38
Figura 5. Curvas de supervivencia de tiempo al inicio del estro en ovejas en el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	45
Figura 6. Cambios de peso corporal en ovejas de pelo durante el postparto sometidas a efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolase®).....	50
Figura 7. Cambio de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 81 días de edad	52
Figura 8. Esquema del protocolo de investigación en el estudio II	60
Figura 10. Cambio de peso corporal de ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolase®) y Somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).....	75
Figura 11. Cambios de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 63 días de edad.....	77
Figura 12. Esquema del protocolo de investigación en el estudio III	85
Figura 13. Curvas de supervivencia de los tiempos de inicio al estro de ovejas de pelo en el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®)	94
Figura 14. Cambio de peso corporal de ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).....	98
Figura 15. Cambio de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 63 días de edad.....	100

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La demanda de corderos ha crecido en los últimos años, lo que genera la necesidad de implementar estrategias que permitan aumentar la cantidad de corderos producida. Un factor determinante para alcanzar una mayor producción de corderos, es reducir el intervalo entre partos, permitiendo a las ovejas concebir en un periodo relativamente corto después del parto. Sin embargo, durante el postparto no existe una frecuencia suficiente de pulsos de la hormona luteinizante (LH), que permita el desarrollo final del folículo y la ovulación (Sosa *et al.*, 2006). El amamantamiento es uno de los factores más importantes que potencializa la inhibición de la actividad ovulatoria, aunque otros factores pueden afectarlo como son: raza, época de parto, involución uterina, presencia de machos y nutrición, que parecen ser de los más importantes (Arroyo-Ledezma *et al.*, 2000).

Después del parto, existe un rápido incremento en los requerimientos de nutrientes por causa de la lactación, lo que ocasiona un balance energético negativo durante el postparto temprano que afecta la secreción de las hormonas reproductivas y la reanudación de la actividad ovárica (Butler, 2000), por lo cual la complementación energética contrarresta e incrementa la fertilidad y prolificidad (O'Callaghan y Boland, 1999; Trejo, 2000), aunque la respuesta suele no ser homogénea.

Otra de las causas de baja fertilidad en ovejas es la muerte embrionaria temprana, que puede disminuirse e incrementar la fertilidad por la administración de Somatotropina bovina recombinante (rBST). Su administración provoca el crecimiento de los tejidos y se le relaciona con la mejora en la esteroideogénesis, el reconocimiento materno de la gestación, desarrollo embrionario temprano, maduración de ovocitos e incremento y manutención en la producción de leche (Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013).

No obstante, el uso de hormonas en el ganado está siendo limitado en los países desarrollados, con la finalidad de disminuir o evitar sus residuos en los productos animales, con el consiguiente riesgo para la salud humana, y evitar problemas sanitarios y de bienestar animal. Por lo que, en la actualidad se trata de disminuir el uso de hormonas y utilizar métodos naturales como el uso de la bioestimulación ejercida por la presencia del carnero conocido como “efecto macho”; el cual consiste en estimular las hembras en anestro por la presencia del macho por medio de señales socio-sexuales (Álvarez y Zarco, 2001), incrementando la frecuencia de secreción de pulsos de GnRH y LH (Martin *et al.*, 1986), método que ha tenido respuestas satisfactorias en hembras en el postparto al inducir las a la ciclicidad (Morales-Terán *et al.*, 2011; Castillo-Maldonado *et al.*, 2013).

Por lo anterior, se plantea que el uso del efecto macho en ovejas de pelo en el postparto restablece la actividad ovulatoria y la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y Somatotropina bovina recombinante (Boostin-S®) y sus combinaciones influyen positivamente en las variables reproductivas de las hembras con un protocolo de inducción con progesterona por cinco días.

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta reproductiva y productiva postparto de las ovejas de pelo al uso del “efecto macho” por 25 días y a un protocolo de inducción del estro por cinco días con la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolice®) en el día 36 y Somatotropina bovina recombinante (Boostin-S®) en los días 18 y 36 postparto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Periodo postparto

Es definido como el tiempo entre el parto y el restablecimiento de la actividad ovárica cíclica (González-Reyna *et al.*, 1991), y su objetivo es garantizar la supervivencia de la cría y la perpetuidad de la especie (McNeilly, 1997).

Durante el periodo postparto existe una reducción en la síntesis de las hormonas luteinizante (LH) y folículo estimulante (FSH) en la hipófisis, provocada por una fuerte retroalimentación negativa del estradiol (E_2) aunado al estímulo externo del amamantamiento que, potencializa ese efecto mediante neurotransmisores, provocando un desarrollo folicular deficiente sin la consecuente ovulación.

Además de las condiciones hormonales existentes en la hembra durante este periodo, existen factores externos que condicionan la duración del anestro postparto como son: raza, edad, alimentación, estado corporal, época de parto, duración de la lactación, involución uterina y la presencia de machos, entre otros (López-Sebastián e Inskeep, 1998; Arroyo-Ledezma *et al.*, 2000). De entre todos estos factores, la época de parto es uno de los que mayor influencia tiene en la aparición del siguiente ciclo estral en ovejas en latitudes mayores a 35° , ya que el parto está determinado por un efecto estacional a través del fotoperiodo. Ello implica que si los partos ocurren al final de la estación reproductiva o dentro del anestro estacional, el anestro postparto se confunde con este último, provocando periodos largos de anovulación en las hembras, las cuales restablecen su actividad ovulatoria hasta la siguiente estación reproductiva (Arroyo *et al.*, 2009).

En México, algunos autores consideran que las razas de origen cercano al Ecuador, como son las ovejas de pelo, aproximadamente un 60 y 70 % no presentan anestro estacional, siendo capaces de reproducirse durante todo el año (Valencia *et al.*, 1980; Cerna *et al.*, 2000).

De esta forma, el efecto del anestro estacional no se confunde con el anestro postparto; siendo de interés el estudio de los aspectos neuroendocrinos o fisiológicos y la generación de nuevas estrategias que lo reduzcan en este tipo de animales (Arroyo *et al.*, 2009).

2.2. Endocrinología del periodo postparto

Después del parto, las ovejas tienen cambios fisiológicos importantes que conducen a la involución uterina, la cual se completa entre los 28 y 30 días postparto (González-Stagnaro *et al.*, 2002) y la cual es una barrera física para que la hembra pueda quedar gestante rápidamente después del parto.

La secreción de LH es el factor más importante en el reinicio de la actividad ovárica después del parto. Al final de la preñez y en el periodo temprano postparto se encuentran niveles altos de progesterona y estrógenos placentarios (Day, 2004), que actúan sobre las neuronas productoras de GnRH (Hormona estimuladora de gonadotropinas) en el área preóptica, mediante una retroalimentación negativa que disminuye la secreción pulsátil de LH, posiblemente por una sensibilidad de la hipófisis a la estimulación de GnRH (Nett *et al.*, 1988; Yavas y Walton, 2000; Figura 1). Debido a esta posible sensibilidad neuronal, las neuronas productoras de GnRH permanecen sensibles al efecto inhibitor de los estrógenos secretados por los folículos en desarrollo.

Después del parto, existe un pronunciado pico de FSH, probablemente debido a la disminución de los esteroides placentarios y ováricos circulantes (Day, 2004). Algunos autores mencionan que las concentraciones de FSH aumentan gradualmente entre los 5-10 días postparto, lo cual está asociado a una emergencia de una oleada folicular (Fitzgerald y Cunningham 1981; Karsch *et al.*, 1997).

Por lo tanto, la actividad de crecimiento folicular no se ve interrumpida, aún en ausencia de ovulación, por lo que se considera que la secreción de FSH y el ovario no son factores limitantes para la reanudación de la actividad ovárica en el postparto.

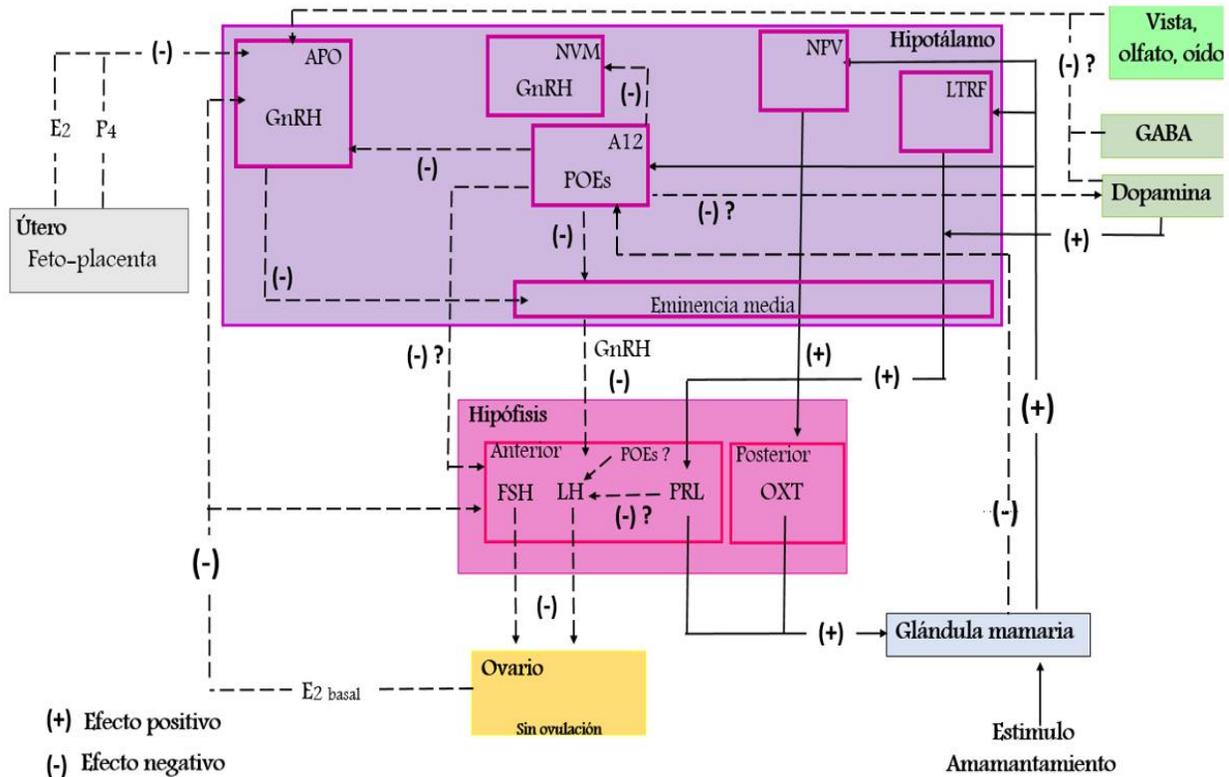


Figura 1. Esquema hipotético que representa el mecanismo endocrino-neuroendocrino del anestro postparto (APO: área preóptica; GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; GABA: ácido gamma amino butírico; NVM: núcleo ventromedial; A12: núcleo A12 o arcuato; POEs: péptidos opioides endógenos; NPV: núcleo paraventricular; LTRF: factores liberadores de prolactina; FSH: hormona folículo estimulante; LH: hormona luteinizante; PRL: prolactina; OXT: oxitocina; E₂: estradiol).

Debido a que durante las primeras semanas postparto el ovario no cuenta con un cuerpo lúteo (CL) desarrollado para producir cantidades altas de progesterona, el incremento en la secreción de LH, hasta antes de que se presente la primera ovulación, depende de la secreción ovárica de estrógenos.

Por lo que, casi siempre la primera ovulación postparto es infértil; y suele ser precedida por uno o más ciclos cortos con baja secreción de progesterona y ovulaciones silenciosas, pero este proceso es necesario para que el ovario forme su primer cuerpo lúteo y la hembra restablezca la ciclicidad. De este modo, la vida media del cuerpo lúteo es un factor importante en el restablecimiento de la ciclicidad normal de la oveja.

Al parecer, la presencia de un cuerpo lúteo de vida media corta inmediatamente después de la primera ovulación resulta de bajas concentraciones de progesterona, de un bajo número de receptores para esta hormona y un elevado número de receptores para oxitocina en las células endometriales, permitiendo la activación anticipada del mecanismo de retroalimentación entre oxitocina y prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}), desencadenantes de la luteólisis. Aunque los mecanismos que rigen la función del primer cuerpo lúteo postparto parecen estar asociadas con señales luteolíticas controladas por la progesterona y el estradiol (Garverick *et al.*, 1992).

En ovejas, la ausencia de ovulación parece estar también relacionada con el amamantamiento, que retarda la ocurrencia del primer estro postparto (33 a 98 días; Galina *et al.*, 1996) e inhibe la secreción pulsátil de LH, con la subsecuente falta de maduración folicular (Rhodes *et al.*, 2003).

2.3. Factores que influyen en el periodo postparto

2.3.1. Amamantamiento

El amamantamiento tiene relación directa sobre la duración del anestro postparto. Su fundamento radica en que mejora la sensibilidad hipotalámica a la retroalimentación negativa de los estrógenos sobre la liberación de GnRH y consecuentemente de LH. De esta manera, la succión disminuye las concentraciones periféricas de LH y por consiguiente, suprime la maduración folicular (Rhodes *et al.*, 2003).

La secreción pulsátil de LH en la oveja, se ve afectada por el amamantamiento del cordero por dos vías distintas: la primera por la presencia de oxitocina debido al estímulo de amamantamiento, esta hormona actúa inhibiendo la secreción de GnRH, con lo cual no se producen los pulsos de LH que preceden a la ovulación, pero aún más importante parece ser la relación madre-cría, ya que el contacto sensorial (visual, sonoro y olfativo) de la hembra con su cría parece ser la causa principal de que se mantenga bloqueada la secreción pulsátil de GnRH y por consiguiente, los pulsos necesarios de LH para la ovulación. La reducción del estímulo del amamantamiento y contacto del cordero, actúan de forma positiva sobre la oveja, logrando incrementar la frecuencia e intensidad de los pulsos de GnRH y LH, con el reinicio más temprano de la actividad ovárica (Morales-Terán *et al.*, 2004; Pérez-Hernández *et al.*, 2009; Morales-Terán *et al.*, 2011; Castillo-Maldonado *et al.*, 2013).

Se ha observado en ovejas sin amamantar, que sus ciclos estrales retornan alrededor de 3 a 5 semanas postparto y se asocian con un restablecimiento de las cantidades normales de secreción de LH, receptores y respuesta a GnRH, mientras que en ovejas amamantando, el estro se retrasa por tres semanas o más (Schirar *et al.*, 1989).

Por lo tanto, LH es el factor que limita el reinicio de la actividad ovárica durante el postparto y el amamantamiento potencializa el efecto negativo ejercido por el estradiol y conjuntamente inhiben la secreción pulsátil de LH inhibiendo la ovulación. Se ha sugerido que probablemente esta inhibición causada por el amamantamiento es lograda a través de la secreción de los péptidos opioides endógenos (POEs; Lozano *et al.*, 1998), neurotransmisores que se han encontrado en el periodo postparto temprano y durante la lactancia en varias especies, incluyendo cerdas, ovejas y vacas (Barb *et al.*, 1986).

2.3.1.2. POEs y amamantamiento

La inhibición de la secreción de LH debida al amamantamiento puede estar influenciada por los neurotransmisores opioides endógenos (POEs; Lozano *et al.*, 1998), principalmente del opioide hipotalámico β -endorfina, en respuesta al estímulo de succión (Taylor *et al.*, 2007). Los POEs son un grupo de compuestos que están en el cerebro de una amplia variedad de especies y fueron llamados así por su actividad muy parecida a la causada por los derivados opioides, los cuales tienen acciones multifacéticas, una de ellas, la modulación de la secreción de GnRH y LH.

Los receptores específicos que se unen a los opioides y sus antagonistas están principalmente confinados al tejido nervioso. Se ha demostrado que los receptores para los opioides se encuentran dentro del área preóptica (APO), eminencia media (Leshin *et al.*, 1991) y el núcleo hipotalámico A12 (Lehman y Karsch, 1993; Cosgrove *et al.*, 1993) del cerebro. Si los receptores opioides de las regiones mencionadas se bloquean con un antagonista opioide, la secreción de LH se incrementa en vacas y ovejas lactantes (Newton *et al.*, 1988; Leshin *et al.*, 1991; Williams y Griffith, 1995). La disminución de la secreción de LH puede ocurrir por la inhibición de GnRH en la eminencia media y posiblemente en el APO (Figura 1).

La eminencia media es el sitio fisiológico de secreción de GnRH que regula directamente la secreción a la hipófisis de LH. Aunque la inhibición opioide podría ocurrir también en las dendritas del APO, suprimiendo la actividad neuronal y la liberación en los axones terminales de la eminencia media, de esta hormona (Leshin *et al.*, 1991). Los POEs parecen inhibir la producción de dopamina y eso conduce al incremento en los niveles de prolactina (Ben-Jonathan y Hnasko, 2001), fenómeno que favorece la producción láctea. Sin embargo, aún no queda claro cómo interactúan (Figura 1).

Durante el periodo de amamantamiento frecuente, las concentraciones séricas de prolactina son elevadas y se relacionan inversamente con las concentraciones de LH circulantes (Gregg *et al.*, 1986). Sin embargo, no se sabe con claridad como prolactina pueda inhibir la secreción de GnRH/LH. Parvazi (2000) menciona que quizá pueda haber una asociación entre neurotransmisores inhibitorios como el ácido gamma amino butírico (GABA), catecolaminas, dopamina, y POEs; que pudieran estar inhibiendo o modulando la secreción de gonadotropinas y hormonas neurohipofisarias durante el periodo postparto. No obstante, dichos eventos se desconocen, pues la compleja red neural e interacción entre neurotransmisores y neuronas, complica el estudio de este y otros mecanismos fisiológicos asociados con la reproducción.

Aproximadamente después del día 20 postparto, el estradiol aumenta y altas concentraciones estimulan de manera positiva al hipotálamo (Arroyo-Ledezma *et al.*, 2006), aunado a que el cordero ya consume alimentos sólidos y depende menos del amamantamiento; por lo cual se da un incremento paulatino de la secreción de LH. Estas variaciones fisiológicas en la frecuencia de secreción pulsátil de LH inducen la maduración folicular, la ovulación y el posterior desarrollo de un cuerpo lúteo de duración normal, generando una concentración plasmática de progesterona similar a la observada durante la fase lútea del ciclo estral en ovejas (3 a 6 ng mL⁻¹; Schirar *et al.*, 1989).

2.3.2. Efecto macho

Los factores sociales, entre ellos el efecto macho, es otro de los factores que influyen en el comienzo de la actividad reproductiva postparto. El efecto macho se conoce desde hace años y ha sido extensamente estudiado en ovinos (Martin *et al.*, 1986; Hawken y Martin, 2012).

La forma más natural en que se puede estimular y desencadenar el proceso ovulatorio en una hembra en situación de anestro postparto, es mediante estímulos socio-sexuales entre machos y hembras, conocido como “efecto macho”, el cual consiste en la introducción repentina de machos “nuevos” que puedan inducir la ovulación en hembras que están en reposo sexual (Delgadillo *et al.*, 2009), mediante feromonas u otros estímulos externos (táctiles, visuales, auditivos u olfatorios; Martin *et al.*, 1986; Pearce y Oldham, 1988; Álvarez y Zarco 2001).

El efecto macho en ovinos es un manejo basado en la introducción de carneros a un grupo de ovejas que previamente permanecieron aisladas un tiempo determinado (mínimo 3 semanas; Gatica *et al.*, 2012) de todo contacto con machos. La introducción de éstos induce una serie de cambios neuroendocrinos que concluyen en estro y ovulación; la respuesta de las ovejas se caracteriza por un incremento en la pulsatilidad de LH y una reversión de la retroalimentación negativa del estradiol presente en esta etapa sobre el eje hipotálamo-hipófisis (Walkden-Brown *et al.*, 1999). El incremento en las concentraciones de LH se puede observar a los 10 min de introducidos los carneros; luego ocurre la ovulación, la que en general no es acompañada de estro y puede encontrarse asociada o no a un CL de vida media corta.

Está reconocido que los estímulos del macho provienen a través de feromonas andrógeno dependientes secretadas por las glándulas sebáceas y sudoríparas, liberadas principalmente desde la piel en la zona de la cabeza y que también aparecen en la orina (Rekwot *et al.*, 2000); no obstante, la orina de los machos es inactiva (Cohen-Tannoudji *et al.*, 1994). Es imposible considerar al efecto macho como el resultado exclusivo de la comunicación química (feromonas), existiendo otros estímulos como los visuales, táctiles y auditivos que estarían involucrados en este fenómeno (Álvarez y Zarco, 2001).

Las feromonas son transmitidas a los órganos olfatorios de la hembra por dos vías neurales independientes; el sistema olfatorio principal percibe los olores, desde la mucosa olfatoria y se conecta con el resto del sistema nervioso central a través del bulbo olfatorio principal, y el sistema olfativo accesorio a través del órgano vomeronasal, y conecta a otros centros del cerebro mediante el bulbo olfatorio accesorio vomeronasal (Gelez y Fabre-Nys, 2004; Figura 2). Esta señal olfatoria alcanza los receptores en el APO, provocando una respuesta neuroendocrina inmediata que se refleja en cambios de la secreción pulsátil de GnRH/LH (Martin *et al.*, 1980; Murata *et al.*, 2011). Estudios histológicos han permitido demostrar que en la oveja, el olor del compañero sexual se percibe y trata principalmente por el sistema olfatorio principal, y no por el sistema accesorio (Gelez y Fabre-Nys, 2006).

El “efecto macho” induce una fase de desarrollo folicular lo que aumenta la producción de estradiol a nivel folicular, que a su vez al estar en altas concentraciones estimula de manera positiva al hipotálamo medio basal (HMB), actuando específicamente en el núcleo ventro medial (NVM; Caraty *et al.*, 1995), favoreciendo la aparición del pico preovulatorio de LH entre las 3 y 30 horas, después de la introducción de los machos, en intensidad suficiente para que pueda rescatar a más folículos dominantes de la atresia y promover que ovulen, la cual ocurre entre 24 y 60 horas (Bartlewski *et al.*, 2002; Figura 2).

En los últimos años, se comprobó que la kisspeptina presente en las neuronas del núcleo arcuato (A12) y en el APO son un componente importante en el control de la secreción de GnRH. Estudios preliminares muestran que con el uso del efecto macho en ovejas se activan dos poblaciones de neuronas de kisspeptina (Ghenim *et al.*, 2012).

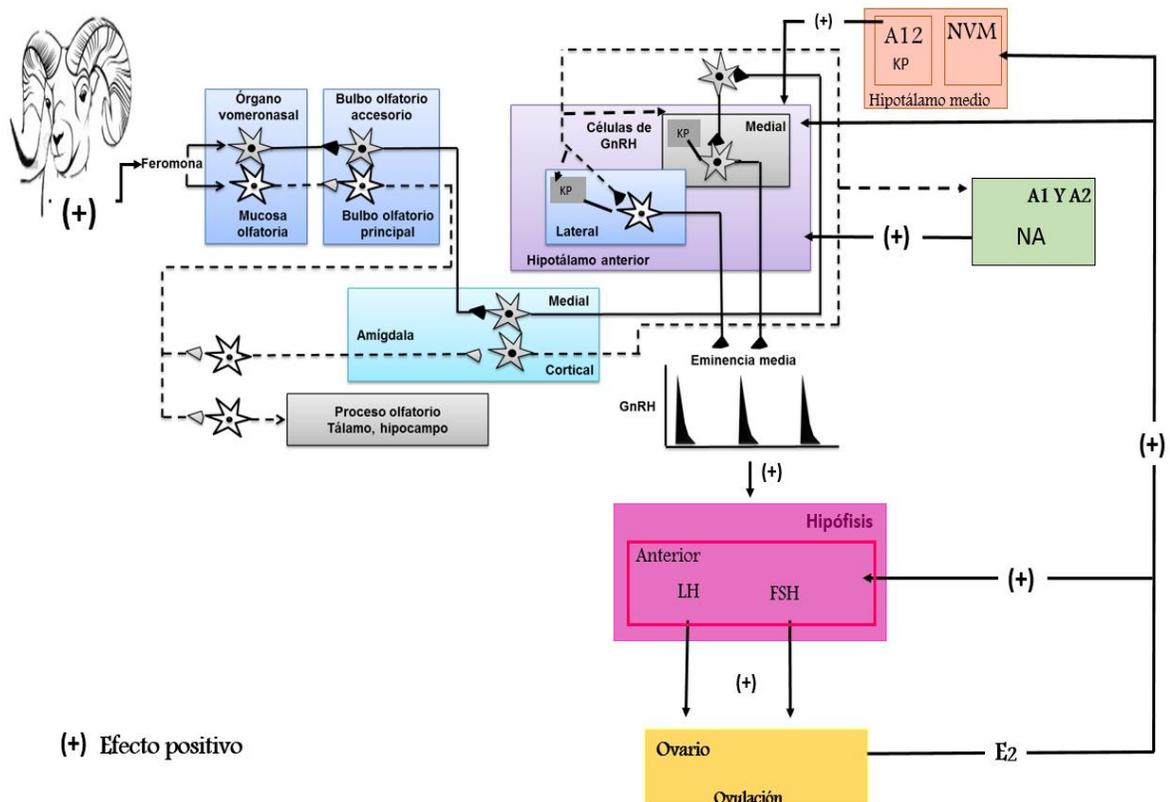


Figura 2. Esquema hipotético que representa el mecanismo endocrino-neuroendocrino del efecto macho (A12: Núcleo A12 o arcuato; NVM: núcleo ventromedial; KP: kisspeptina; A1: núcleo A1 noradrenérgico; A2: núcleo A2 noradrenérgico; NA: norepinefrina; GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; FSH: hormona foliculo estimulante; LH: hormona luteinizante y E2: estradiol; Modificado de Martin et al., 1986).

También se ha demostrado que el olor del macho en las hembras provoca un aumento de Norepinefrina (NA) en la parte posterior del APO, y que la modulación de la secreción de GnRH/LH por la NA se debe principalmente a los núcleos A1 y A2 (Simonian *et al.*, 1998; Figura 2). Dichas estructuras mantienen relación con el sistema neuroendocrino, traduciéndose finalmente en un aumento de la frecuencia de pulsos de LH. Si el contacto con el macho se mantiene, esta estimulación en la pulsación de la secreción de LH va a provocar la aparición de una descarga preovulatoria seguida de la ovulación.

En las ovejas en anestro postparto generalmente, la primera ovulación tras la introducción del carnero es silenciosa. Debido a la falta de progesterona, ya que, la presencia de progesterona es necesaria para la aparición del estro en los ovinos. El 50 % de los cuerpos lúteos derivados de esta primera ovulación tiene una función y duración normal, dando lugar a un ciclo de regular, produciéndose una segunda ovulación acompañada de estro fértil entre los 18 y 19 días después de la introducción del macho. No obstante, en el resto de las ovejas, el CL resultante de esa primera ovulación posee una menor duración (6-7 días) y función anormal, dando lugar a una segunda ovulación; en ocasiones también sin signos de estro y acompañada por una tercera ovulación con estro fértil que aparece alrededor del día 25 después de la introducción de los machos (Pearce y Oldham, 1984; Martin *et al.*, 1986).

Una forma de mejorar la respuesta al efecto macho es a través de la disminución o supresión de la alta incidencia de ovulaciones silenciosas y ciclos cortos. Esto se puede conseguir tratando a las ovejas con una dosis de progesterona 24 horas antes o en el momento de introducir los machos (Cognie *et al.*, 1982). González-Bulnes *et al.* (2006) observaron una mayor agrupación de estros (100 %) en cabras, durante los cuatro primeros días después de la introducción de los machos. Este comportamiento, probablemente, se debe a que la progesterona actúa retardando el pico de LH y facilitando y prolongando la exposición de los folículos en desarrollo al efecto de las gonadotropinas.

En los últimos años, se ha combinado el uso del efecto macho con otros tratamientos hormonales para sincronizar el estro; esta combinación constituye una alternativa eficaz para reducir costos y mejorar la eficiencia reproductiva (Hawken *et al.*, 2005; Adib *et al.*, 2014). Varios factores podrían influir en la respuesta al efecto macho: algunos propios de las hembras (raza, edad, etapa y peso vivo al momento del estímulo, entre otros) y otros vinculados al estímulo (experiencia sexual, tipo de contacto, tiempo de contacto, entre otros). De los cuales, solo se mencionaran la edad, experiencia sexual y tiempo de contacto.

2.3.2.1. Edad y experiencia sexual

Los carneros adultos son más eficaces en inducir la ovulación y el estro en ovejas que carneros jóvenes (Ungerfeld *et al.*, 2008); las ovejas prefieren pasar más tiempo con el canero de mayor edad, grande y sexualmente más activo. Esto podría atribuirse a las diferencias en apariencia física y comportamiento de los carneros; además de la variabilidad y calidad de las feromonas secretadas por cada individuo. En un estudio Ungerfeld *et al.* (2008) observaron una mayor proporción de ovejas en anestro que ovularon después de la exposición a lana de carneros adultos que a la lana de carneros jóvenes.

La experiencia sexual del carnero afecta la expresión del comportamiento sexual, y hace que los carneros más experimentados monten frecuentemente a las ovejas, más que aquellos carneros inexpertos (Borg *et al.*, 1992). Los carneros sin experiencia sexual; es decir, los que han sido privados desde el destete del contacto con las hembras, manifiestan un comportamiento sexual menos intenso al ser expuestos a las hembras, que los machos criados de forma heterosexual (Price *et al.*, 1991). Sin embargo, otros estudios muestran que la inexperiencia sexual de los machos no disminuye la respuesta de las hembras sometidas al efecto macho, si éstos son sexualmente activos (Valera *et al.*, 2009).

Es probable, que la madurez, la experiencia sexual y la producción de hormonas de los carneros tiene una función importante en la inducción-sincronización de la ovulación en las hembras.

2.3.2.2. Tiempo de contacto

Varios estudios han sugerido que el contacto directo y continuo del macho aumenta la respuesta ovulatoria de hembras al estímulo del macho (Oldham y Pearce, 1983). Así, la respuesta ovulatoria es sólo de 20 % cuando las hembras se exponen a los machos por 24 horas, valor que se incrementa cuando el contacto se prolonga por 4 (51 %) ó 13 (61 %) días (Signoret *et al.*, 1982).

En ovejas con 6 horas de contacto con carneros se induce un aumento rápido de la secreción de LH, que no es suficiente para provocar la ovulación y la secreción de LH retorna a cantidades basales después de que el macho se retira (Pearce y Oldham, 1984).

En un estudio Hawken *et al.* (2009) demostraron la importancia de la duración del contacto con el macho, al exponer ovejas a carneros durante la estación de recría; y observar que ovejas con la presencia continua del macho mostraron una distribución más sincronizada del estro en un menor tiempo (24 h) que aquellas expuestas a la presencia de machos en intervalos de 17 días. Sin embargo, la ovulación puede inducirse si el macho esta de manera intermitente. Parece que cada reintroducción de los machos induce la pulsatilidad de LH, sobre todo aquellos machos sexualmente activos, esos incrementos de pulsatilidad de LH son suficientes para provocar el desarrollo folicular y ovárico a través de una retroalimentación positiva para que se dé la ovulación. Parece ser que la intermitencia de los machos sobre las hembras hace que respondan como si fuera un macho nuevo.

Con la utilización de periodos cortos de estimulación se han observado mayormente resultados positivos. En ovejas de pelo en el postparto sin manejo del amamantamiento el contacto con el macho por dos periodos de 30 min d⁻¹ induce la ovulación de ~79 % (Morales, 2010; Cruz, 2011) y se incrementa cuando se hace la combinación con un control del amamantamiento.

En cabras se ha demostrado que estando en contacto 16 horas diarias durante 10 días, ovula el 19 % de las hembras, mientras que el 95 % lo hace al estar en contacto continuo con el macho (Walkden-Brown *et al.*, 1993). Utilizando machos activos, se ha demostrado que se puede estimular cabras en anestro con sólo 4 horas de contacto diario y asegurar un buen efecto (Bedos *et al.*, 2010).

Del mismo modo, el uso de machos sexualmente activos puede mejorar la eficiencia del efecto macho llegando a demostrar que la separación entre ambos sexos no siempre es necesaria, siempre y cuando se introduzcan machos activos (Delgadillo *et al.*, 2009). Algunos resultados indican que no es tanta la importancia del tiempo de separación previa entre machos y hembras, sino que lo importante es evitar la refractariedad al estímulo de un determinado grupo de machos, lo cual se puede conseguir con el cambio continuo de los mismos o el hecho de que la presencia continua no sea necesaria bastaría con periodos de contacto diarios no superiores a las 4 horas (Rivas Muñoz *et al.*, 2007).

2.3.3. Nutrición

La nutrición desempeña una función importante en la duración y profundidad del anestro postparto; cuando existe una falta importante de aporte de nutrientes al final de la gestación y durante la lactancia, la oveja recurre a sus reservas corporales y queda en segundo plano el reproducirse adecuadamente.

En el postparto temprano, las hembras se encuentran en un balance energético negativo por la gestación, parto, reacomodo del rumen tras el parto y producción de leche. Bajo condiciones de balance energético negativo, hay una reducción de la disponibilidad de glucosa e incrementa la movilización de reservas corporales, además de una reducción en la síntesis de GnRH, lo cual disminuye la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas. Cuando el balance energético se revierte, el hipotálamo puede monitorear este cambio y restablecer la secreción de GnRH (Short *et al.*, 1990).

Un inadecuado consumo de nutrientes en relación con las demandas metabólicas es un factor que contribuye a prolongar el anestro posparto y aunque la naturaleza de estos factores y sus interacciones es compleja y poco conocida, muchos de ellos parecen actuar por vía de mecanismos hormonales (Jolly *et al.*, 1995).

2.3.3.1. Hormonas metabólicas y su relación con GnRH/LH

El mecanismo del cerebro involucrado en percibir el estado metabólico y su conexión con la actividad neuronal de GnRH, se sugiere están localizados en el núcleo arcuato, área preóptica y eminencia media (Blache *et al.*, 2002; Chilliard *et al.*, 2005).

En el área preóptica se encuentran las neuronas productoras de GnRH cuyos axones alcanzan la eminencia media, mientras que en el núcleo arcuato existen tres principales poblaciones neuronales, la propiomelanocortina (POMC), el neuropeptido Y (NPY) y las neuronas productoras de kisspeptina (KP; Coll *et al.*, 2007). Los axones neuronales del núcleo arcuato (A12) se conectan directa o indirectamente a las neuronas productoras de GnRH, y puede servir como una vía para regular el metabolismo de estos neuropéptidos (Xu *et al.*, 2009).

Aunque existe una gran cantidad de neurotransmisores implicados en el control de la secreción de GnRH/LH, sólo tres se relacionan con el estado energético de los animales (POMC, NPY y KP) y con las concentraciones de hormonas metabólicas, insulina, IGF-I y leptina (Guzmán *et al.*, 2012; Figura 3).

2.3.3.1.1. Insulina

La insulina es una hormona de 51 aminoácidos producida como una pre-hormona por las células beta del páncreas (Islotes de Langerhans) y su acción principal es facilitar la entrada de glucosa por la membrana plasmática manteniendo los niveles de la misma en la sangre. Activa las enzimas de la síntesis de glucógeno en hígado y en el tejido muscular, disminuyendo así la concentración de glucosa en sangre.

Durante el anestro postparto, el folículo dominante ovula en respuesta al amamantamiento controlado solo en hembras con altas concentraciones de insulina en plasma (Sinclair *et al.*, 2002) debido a la recuperación más rápida de la condición corporal. Se sabe que la cantidad de insulina circulante está en proporción directa a la cantidad de tejido adiposo (León *et al.*, 2004). El incremento en la ingesta de alimentos provoca una correlación positiva entre GnRH/LH y las concentraciones de insulina; sin embargo, esta relación se pierde en alimentación restringida (Miller *et al.*, 2007). De esta manera, se sugiere que la insulina es importante en la respuesta de GnRH/LH a la variación en el estado metabólico, aunque en ocasiones parece que la insulina no siempre estimula la secreción de GnRH, especialmente en presencia de una fuerte retroalimentación negativa como es el caso del periodo postparto, donde insulina puede verse reducida.

La insulina también es importante en la respuesta del ovario a las gonadotropinas, sus receptores están presentes en las células de la granulosa y la teca, la unión de la hormona a su receptor estimula el transporte de la glucosa hacia las células, siendo la glucosa la principal fuente de energía para el ovario. Por lo que la insulina está involucrada en la respuesta ovulatoria frente al cambio nutricional a través del estímulo del consumo de la glucosa (Viñoles, 2003).

2.3.3.1.2. Factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-I)

El IGF-I es un polipéptido que consiste en 70 aminoácidos que, junto con IGF-II, y sus receptores, las proteínas de unión a IGF (IGFBP) y proteasas de IGFBP forman el sistema IGF que regula el crecimiento somático, la proliferación celular y la apoptosis (Trojan *et al.*, 2007). La hormona del crecimiento (GH) es el estimulador principal de la producción de IGF-I en el hígado, pero este polipéptido puede producirse por la mayoría de los tejidos en respuesta a la GH y otros factores tales como la insulina (Werner *et al.*, 2008).

La presencia de receptores para IGF-I en el área preóptica, eminencia media e hipófisis sugiere un efecto directo de IGF-I sobre la secreción de GnRH y LH. Los IGF-I actúan sobre los axones de las neuronas de GnRH en la eminencia media para estimular su liberación (Daftary y Gore, 2005; Figura 3). En ovejas en el postparto, las concentraciones de IGF-I en plasma están negativamente correlacionadas con la secreción de GnRH/LH y positivamente correlacionado con la condición corporal y el consumo de alimento (Schillo, 1992). En hembras, las concentraciones del IGF-I en la sangre pueden disminuir en los últimos días de la gestación, e ir a un punto más bajo en las primeras semanas postparto, para comenzar a elevarse posteriormente cuando se restablezca la condición corporal hasta que se dé la ovulación.

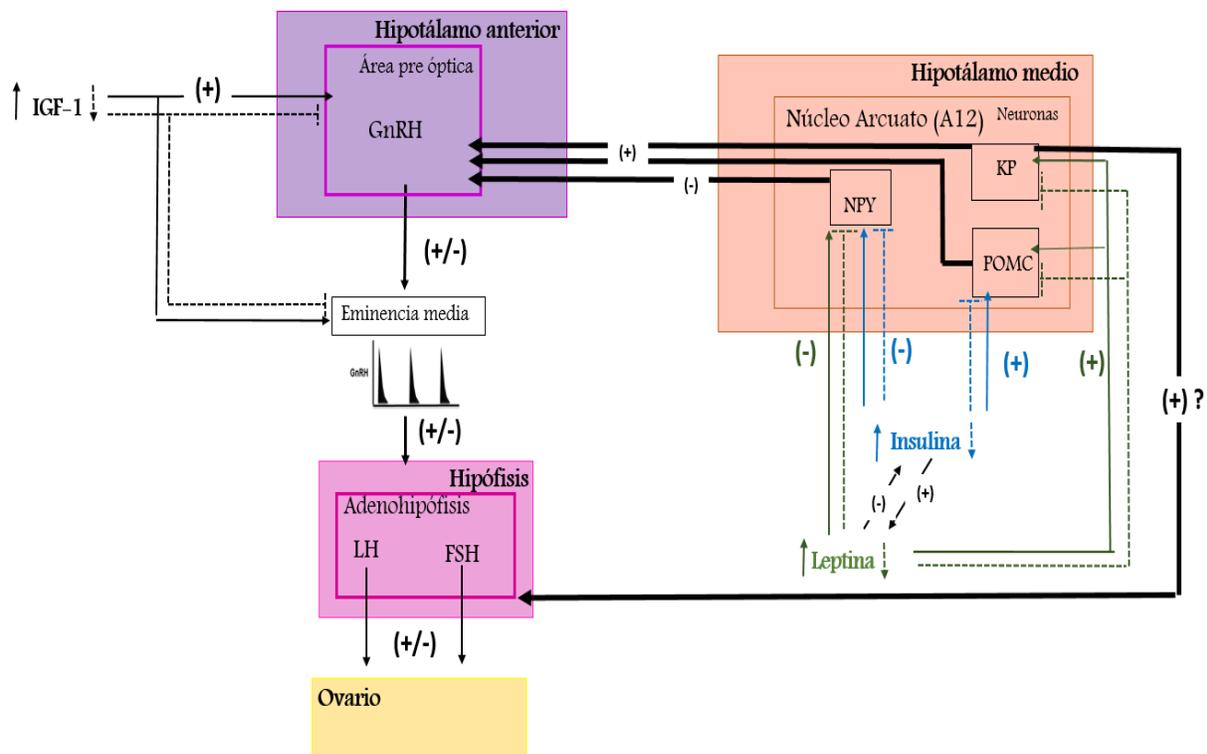


Figura 3. Esquema hipotético que representa el mecanismo endocrino-neuroendocrino de la nutrición, tomando en cuenta solo a las hormonas metabólicas leptina, insulina e IGF-I (GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; LH: hormona luteinizante; FSH: hormona foliculo estimulante; NPY: Neuropeptido Y; POMC: propiomelanocortina y KP; kisspeptina; Modificado de Guzmán *et al.*, 2012).

2.3.3.1.3. Leptina

La leptina es una hormona producida por el gen *ob* en el tejido adiposo (Zhang *et al.*, 1994). Es una hormona constituida por 167 aminoácidos y secretada por el tejido adiposo en proporción directa con el contenido graso, estado nutricional y ubicación del tejido (Chilliard *et al.*, 2005). La expresión y liberación de leptina y la sensibilidad del tejido gonadal y cerebral a la leptina, son alteradas por cambios de corto y largo plazo en el estado metabólico. Otras dos hormonas adiposas, la adiponectina y la resistina, son producidas exclusivamente por el tejido adiposo, siendo la resistina la que inhibe la secreción de insulina, mientras que adiponectina estimula la secreción de leptina (Figura 3).

Existe una correlación negativa entre el anestro posparto y la leptina. Aunque la leptina está implicada en la regulación de GnRH, la presencia de su receptor en las neuronas de GnRH no se ha demostrado. Sin embargo, receptores a leptina se expresa en el núcleo A12, donde leptina puede inhibir al NPY y aumentar la expresión de POMC al disminuir la ingesta de alimentos, lo que aumenta el gasto de energía (Coll *et al.*, 2007) y la regulación de la secreción de GnRH. Así como la insulina, la infusión de leptina en hembras lactantes disminuye la expresión de NPY y aumenta POMC (Figura 3).

Se ha informado recientemente que la leptina aumenta la expresión de kisspeptina en las neuronas del núcleo A12. Aunque muchas facetas de acción de la leptina no se comprenden, sí está claro que suprime el consumo de alimento y se encuentra involucrada en la reducción del peso corporal. La insulina y la leptina son parte de un ciclo de retroalimentación negativa, en el que la insulina estimula la secreción de leptina, y una vez que esta circula, inhibe la producción de insulina (independientemente del alimento; Houseknecht *et al.*, 1998).

2.3.3.1.4. Neuropeptido Y

El Neuropeptido Y (NPY) es un péptido de 36 aminoácidos, el cual se expresa en el hipotálamo principalmente en el núcleo A12 y la amígdala. Entre otras funciones el NPY actúa como enlace entre el estado de la energía y la función reproductiva. Los axones de las neuronas del NPY están en contacto con las neuronas productoras de GnRH en el APO, así como con los axones de las neuronas de GnRH en la eminencia media (Xu *et al.*, 2009), siendo que NPY podría regular tanto la síntesis, como la liberación de GnRH (Figura 3). En situaciones de balance energético negativo, como es el caso del postparto temprano el NPY parece bloquear el eje gonadotrópico especialmente a LH (Hill *et al.*, 2008).

2.3.3.1.5. Propiomelanocortina (POMC)

El gen de POMC se transcribe activamente en varios tejidos, las terminaciones nerviosas de POMC se proyectan del núcleo A12 hacia el APO, donde liberan β -endorfinas involucradas en el control de GnRH. En las ovejas en el postparto, la β -endorfina está involucrada en la inhibición de la liberación pulsátil de GnRH/LH (Taylor *et al.*, 2007).

2.3.3.1.6. Kisspeptina

Kisspeptina es un ligando codificado por el gen *kiss-1*, que actúa a través de receptores acoplados a la proteína G (GPR54), y regula la respuesta en las neuronas productoras de GnRH a cambios bruscos en el estado metabólico (Kadokawa *et al.*, 2008). Se expresa por el núcleo anteroventral periventricular (AVPV) y núcleo A12. El efecto de kisspeptina se propone como el estimulador de la secreción de GnRH o actuando sobre el de gonadotropinas en la hipófisis (Suzuki *et al.*, 2008; Figura 3).

Las interacciones entre las señales periféricas (insulina y leptina) y los sistemas endocrinos (kisspeptina, neuropéptido Y involucrados en el control del consumo) son complejos y no se han establecido de manera precisa; sin embargo, deben de descubrirse, para entender el proceso integrado que indican al cerebro la decisión de reproducirse.

2.3.3.2. Aminoácidos excitadores

Los aminoácidos, se utilizan para energía en el Sistema Nervios Central (SNC), y algunos de ellos son importantes para la regulación de la secreción pulsátil de GnRH. Así, los aminoácidos excitadores son aquellos que actúan como neurotransmisores y tienen efecto específico de activación en las neuronas postsinápticas del sistema nervioso (Lujan, 2004). Además, podrían participar como mensajeros de la señal metabólica que modula los efectos de la nutrición en la reproducción.

Desde los años 50s, se observó que los aminoácidos excitatorios (AAEs) como: aspártico y glutámico, poseen acción sobre la actividad de neuronas del SNC de vertebrados (Curtis *et al.*, 1959). Estos neurotransmisores actúan sobre receptores asociados a canales iónicos para abrir los canales de sodio y producir una despolarización de la membrana postsináptica y aumentar la actividad neuronal. El receptor N-metil-D-aspartato (NMDAR) es uno de los principales receptores de los AAEs. Este receptor estimula la secreción de LH al facilitar la secreción de GnRH, por lo que se le relaciona con eventos como la pubertad, la conducta reproductiva y el estrés (Brann y Mahesh, 1997).

La L-arginina es otro aminoácido excitatorio semi-esencial aislado de semillas del grano Lupinos (Schulze y Steiger, 1886), y que es precursor del óxido nítrico, el cual actúa como neurotransmisor por medio de la enzima óxido nítrico sintetasa.

El óxido nítrico (ON) es un gas y poderoso vasodilatador, que desempeña una función significativa tanto en la fisiología reproductiva humana como animal; siendo importante en la fisiología del parto y la dilatación cervical (Norman y Cameron, 1996), así como con la función ovárica y la ovulación (Squires, 2001). Existe una correlación entre la circulación de ON y el desarrollo folicular, indicando que el ON a nivel de hipotálamo ejerce una acción estimulante en la secreción de GnRH/LH.

La acción de los aminoácidos excitadores en el hipotálamo de mamíferos parece ser en el APO, donde estos ejercen su acción estimuladora sobre la secreción pulsátil de GnRH (Ruiz y Kittok, 2008). La infusión de análogos de glutamato y aspartato como NMDA (N-metil-D-aspartato) o NMA (N-metil-D, L-aspartato), estimulan la secreción de GnRH/LH en roedores (Carbone *et al.*, 1992), y en ovejas (Bucholtz *et al.*, 1996). También se ha demostrado que estimulan la secreción de la hormona del crecimiento en ovejas (Recabarren *et al.*, 1996) y por medio de los factores de crecimiento análogos a insulina tipos I y II (IGF-I y IGFII) tienen efectos en la secreción de GnRH/LH, así como en la función ovárica, ya que participan en la proliferación de las células de la teca, de la granulosa, y en la esteroidogénesis ovárica (Davidson *et al.*, 2002). Sin embargo, la participación de los aminoácidos en funciones estructurales, metabólicas y como mediadores sinápticos, ha hecho que su estudio presente una serie de dificultades adicionales a las de otros neurotransmisores.

2.3.4. Hormonas exógenas

Durante el periodo postparto existen varios métodos para inducir o sincronizar el estro, mediante el empleo de métodos farmacológicos como naturales. Entre los primeros destacan el uso de la progesterona (P₄) y sus análogos (González-Bulnes *et al.*, 2005), el uso de prostanoides o análogos de la PGF_{2α} y el uso de rBST, entre otros. Entre los métodos naturales, destaca el uso de señales socio-sexuales como el “efecto macho”, del cual se trató en páginas anteriores.

2.3.4.1. Progestágenos

La P₄ y sus análogos sintéticos (progestágenos) son hormonas empleadas para controlar el ciclo sexual de las ovejas, simulando la presencia de un CL funcional e induciendo la ovulación tras su retiro. Se administran generalmente por medio de dispositivos (CIDR) o esponjas intravaginales (MAP y FGA), su mecanismo de acción es reducir la pulsatilidad de GnRH/LH y la secreción de FSH en hipófisis. En el momento del retiro del dispositivo se libera el bloqueo de LH, produciéndose el crecimiento folicular y el estro acompañado de ovulación (Gutiérrez, 2005).

Uno de los factores que en los últimos años ha tenido mayor interés es el acortamiento de protocolos de sincronización. Con base a ello, se han propuesto protocolos alternativos de corta duración que consisten en sólo 5-7 días de exposición a la progesterona asociado a una dosis de eCG en anestro estacional (Ungerfeld y Rubianes, 2002; Menchaca *et al.*, 2007), que han demostrado ser tan efectivos como aquellos tradicionales de 14 días, en términos de porcentaje de estros (86 vs 100 %), inicio del estro (46 vs 44 h) y tasa de concepción (44 vs 44.4 %; Ungerfeld y Rubianes, 2002). El objetivo principal de estos protocolos ha sido evitar concentraciones de progesterona subluteales por periodos prolongados y por el contrario, asegurar niveles adecuados que permitan la ovulación de ovocitos fértiles.

Este tipo de protocolos ultra cortos, suponen que al colocar el dispositivo en general existe un folículo grande que puede estar en fase de regresión o en crecimiento, en ambos casos la progesterona liberada por el dispositivo favorece su regresión y la emergencia de una nueva onda folicular. Al retirar el dispositivo, el nuevo folículo es grande de diámetro y continúa su crecimiento hasta la ovulación que ocurre entre las 60-70 horas más tarde (Menchaca *et al.*, 2007). Se menciona que al utilizarlos se cuenta con los beneficios de mejorar el control folicular y ovulatorio, aceptable fertilidad y facilidad para su aplicación, que justifican su uso frente a los tratamientos tradicionales.

2.3.4.2. Prostanoides

La prostaglandina F_{2α} es el factor luteolítico en rumiantes; por ello, esta hormona o sus análogos sintéticos se utilizan para la inducción o sincronización de estros y ovulaciones (Weems *et al.*, 2006). La aplicación de estos tratamientos induce la lisis del CL y, en consecuencia, la aparición de una fase folicular acompañada de estro y ovulación. Su principal ventaja está en no dejar residuos en el animal, ya que la PGF_{2α} es totalmente metabolizada en el pulmón (99 %), en componentes prácticamente inactivos (Light *et al.*, 1994).

2.3.4.3. Somatotropina Bovina Recombinante (rBST)

Esta hormona es de origen peptídico, que en forma natural se produce por las células somatotropas de la hipófisis, que están reguladas por dos péptidos hipotalámicos: por un lado, la somatotropina (ST) o la hormona liberadora de la GH (GRH), y por otro lado, la somatostatina (SS) u hormona inhibidora de la GH (GIH) que inhibe su liberación controlando la pulsatilidad (Pérez, 1997).

La hormona del crecimiento (GH) es una molécula proteica que contiene 190 ó 191 aminoácidos en una sola cadena, su administración provoca una reducción en la asimilación de la glucosa en los tejidos periféricos, e incrementa la producción hepática de glucosa; de tal manera que existe más glucosa disponible (Capuco, 1989), teniendo efectos anabólicos y catabólicos. La forma de acción de ésta hormona no está todavía clara; sin embargo, se conoce que está mediada por los factores de crecimiento parecidos a la insulina, denominados somatomedinas (IGF-I e IGF-II), que son producidos en mayor grado en el hígado y en menor cantidad en mamas y gónadas, después de ser estimulados con la somatotropina (Peel y Bauman, 1987).

A inicio de los años ochenta se logró obtener esta hormona mediante la tecnología del DNA recombinante, que consistía en extraer el gen que produce BST de la hipófisis de la vaca e introducirla dentro de la información genética de la bacteria *Escherichia coli* K-12. La somatotropina se produce dentro de los dos organismos, al morir la bacteria se obtiene una molécula que es igual biológicamente a la natural, la somatotropina es extraída y purificada, y se le conoce como rBST (Recombinant Bovine Somatotropin) y que comercialmente se vende en distintas denominaciones (Bauman, 1992).

La somatotropina a pesar de no ser una gonadotropina, participa en la estimulación de las células foliculares de la granulosa, provocando desarrollo folicular, en la formación y función del cuerpo lúteo (Izadyar, 1997; Lucy, 2008); actúa sobre la GH y causa un incremento en la síntesis y secreción hepática de IGF-I e insulina, elevando las concentraciones circulantes, pero no altera los niveles basales ni pulsátiles de FSH y LH.

Los efectos indirectos de la somatotropina se asocian a la glándula mamaria a través del factor de crecimiento similar a la insulina IGF-I, el cual es un sistema complejo que incluye el IGF-I e IGF-II, tienen dos tipos específicos de receptores y seis proteínas transportadoras específicas de unión al IGF (IGFBP; McGuire *et al.*, 1992). La aplicación de somatotropina en el ganado, aumenta la concentración plasmática de IGF-I provocando efectos indirectos sobre la glándula mamaria para una mayor síntesis de leche y a su vez para que se mantenga por mayor tiempo (McGuire *et al.*, 1992).

En ovejas Rahmani la aplicación de 50 y 100 mg rBST a partir de los 30-40 días postparto, una vez cada dos semanas por 60 días, incrementó la cantidad de leche total para ambas dosis sin afectar el peso corporal, aumentado la proteína de la leche y mejorando la ganancia diaria de los corderos, sin afectar los sólidos totales, grasa, lactosa y ceniza (Sallam *et al.*, 2005).

2.3.4.3.1. IGF-I en la foliculogénesis

El Factor de crecimiento similar a la insulina es una proteína que liberan muchos tejidos y prácticamente afecta a todas las células del organismo, encontrándose receptores de IGF en los principales órganos del cuerpo; siendo el hígado el principal sintetizador de esta proteína (Werner *et al.*, 2008).

El IGF-I es de naturaleza peptídica, producido en las células de la teca y membrana de la granulosa en el ovario; participa en la actividad de la hipófisis y el hipotálamo, interviniendo en el desarrollo y crecimiento de los folículos estimulado por las gonadotropinas y la función de cuerpo lúteo. El IGF-I en las células de la granulosa estimula la producción de progesterona y se encuentra en proporción elevada en folículos grandes, misma que es estimulada por la acción de FSH y de E₂ para optimizar el crecimiento folicular (Lenz *et al.*, 2007).

La aplicación de rBST en animales duplica los niveles de IGF-I en sangre (Bauman, 1999), y persiste en la circulación por 2-3 semanas post aplicación (Jousan *et al.*, 2007), lo cual aumenta la fertilidad y prolificidad en ovejas (Rodríguez, 2005; Sosa-Pérez *et al.*, 2014).

2.3.4.3.2. IGF-I en el desarrollo embrionario

Después de la fertilización, el desarrollo embrionario puede estar influenciado por la rBST y por el IGF-I, ya que se han identificado receptores para estas sustancias en diferentes estados del desarrollo embrionario (Palma *et al.*, 1997).

Existen dos ventanas con relación al desarrollo embrionario, la primera corresponde a la fertilización y al desarrollo embrionario durante los primeros siete días y la segunda a los días en que ocurre el reconocimiento materno de la gestación (días 10 a 13 del ciclo estral en ovejas; Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013).

Así, la administración de rBST al momento del servicio, aumenta el porcentaje de ovocitos fertilizados y la proporción de embriones transferibles. La adición *in Vitro* de GH o IGF-I al medio, incrementa la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocisto. Es posible que después de la administración de rBST, el desarrollo embrionario sea modulado en el oviducto y en el útero, cambiando el ambiente uterino para un mejor reconocimiento embrionario (Pershing *et al.*, 2002) y producción de interferón-tau (IFN-T; Spencer *et al.*, 2004).

El IGF-I y otros factores de crecimiento se han implicado en la secreción de fosfolipasa A2 y de la enzima ciclooxigenasa-2 que regulan la síntesis de prostaglandina. Así, la aplicación de rBST puede atenuar la producción de prostaglandina por el endometrio uterino, durante el reconocimiento materno, incrementando la sobrevivencia del embrión (Moreira *et al.*, 2001). El embrión debe alcanzar un tamaño adecuado en el día 16 de gestación, con el fin de producir suficiente IFN-T para prevenir la luteólisis y lograr éxito en el reconocimiento de la gestación (Block y Hansen, 2007). Para que el embrión produzca IFN-T, depende en gran medida de la cantidad de progesterona que se ha producido por el cuerpo lúteo, fundamentalmente durante la primera semana después de la ovulación (Mann *et al.*, 2006). En ovejas Pelibuey, Navarrete *et al.* (2008) evaluaron el efecto de la hormona de crecimiento aplicada en un programa de superovulación, observando una mayor maduración de folículos e incrementando la cantidad recuperada de embriones (64 vs 78 %) y la tasa de viabilidad embrionaria (54.69 vs 82.05 %), atribuido a que la rBST altera los componentes del sistema de factores de crecimiento insulínico, estimulando la esteroideogénesis folicular.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El éxito económico en la producción de ganado ovino depende del número mayor de crías en intervalos de tiempo más cortos. Uno de los principales problemas para los productores, es el intervalo que transcurre desde el momento del parto hasta la aparición de un estro con ovulación en las hembras. Para ello es necesario que las hembras reinicien su actividad reproductiva en una etapa temprana del postparto y queden gestantes más rápido, a la vez que las crías tengan un buen desarrollo corporal. Sin embargo, existen varios factores que actúan solos o en interacción, que prolongan el intervalo parto primera ovulación (IPPO) en la oveja; entre los cuales, el estado endocrino, raza, época de parto, amamantamiento, presencia de machos y la nutrición parecen ser los más importantes (Arroyo-Ledezma *et al.*, 2000). Así, el periodo postparto se caracteriza por la disminución de la frecuencia de secreción de la hormona estimuladora de gonadotropinas y hormona luteinizante (GnRH/LH), lo que no permiten un desarrollo final del folículo y la ovulación.

Dentro de las alternativas que podrían coadyuvar a disminuir el anestro postparto se encuentra el uso del “efecto macho”; el cual, a través de señales socio-sexuales ha mostrado ser una alternativa para acortar este periodo. Estudios realizados con ovinos muestran que la presencia del macho activa la secreción de GnRH/LH e induce la ovulación, reduciendo el IPPO e incrementa el número de hembras que ovulan (Morales-Terán *et al.*, 2011; Murata *et al.*, 2011; Castillo-Maldonado *et al.*, 2013).

Otro de los factores esenciales para reiniciar la actividad ovárica dentro del postparto es el estado nutricional de la oveja, ya que condiciona una respuesta reproductiva eficiente. Después del parto existe un desbalance metabólico, lo que retarda la reanudación de los ciclos estrales postparto y dependiendo de su intensidad, puede limitar la actividad ovárica.

Aún no se conoce con exactitud el mecanismo a través del cual las sustancias participan en la respuesta hipotalámica y ovárica para la reanudación del ciclo estral; sin embargo, la implementación de reconstituyentes metabólicos durante esta etapa podría ayudar a reiniciar más rápidamente la actividad cíclica.

La administración de Somatotropina bovina recombinante (rBST) en hembras, incrementa la producción de leche de la glándula mamaria mediante la secreción de leche por el alvéolo y la galactopoyesis al distribuir nutrientes disponibles en otros tejidos hacia la glándula mamaria (Ramírez, 2007). Además, la rBST ejerce otros efectos en el ovario, incrementando las cantidades de los factores de crecimiento parecido a la insulina (IGF- I e IGF- II) y las concentraciones de insulina, los cuales son favorables en la maduración del ovocito, cuerpo lúteo, desarrollo embrionario en etapas tempranas y reconocimiento materno de la gestación, incrementando así la prolificidad (Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013).

Con base en lo anterior, se planteó que el uso del efecto macho en ovejas de pelo en el postparto influye positivamente para el reinicio de la ciclicidad y la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y Somatotropina bovina recombinante (Boostin-S®) y sus combinaciones afectan positivamente las características reproductivas de las hembras con un protocolo de inducción por cinco días con progesterona.

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta reproductiva postparto de las ovejas de pelo al uso del efecto macho por 25 días y a un protocolo de inducción del estro por cinco días con la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolice®) en el día 36 y Somatotropina bovina recombinante (Boostin-S®) en los días 18 y 36 postparto.

IV. ESTUDIO I. “Efecto macho” y un reconstituyente metabólico en ovejas de pelo durante el postparto.

4.1. RESUMEN

Se evaluó la respuesta reproductiva y productiva postparto de ovejas de pelo al uso del efecto macho por 25 días y con un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona y la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolase®). Se utilizaron 120 hembras y sus corderos, asignadas al azar a uno de cuatro tratamientos. T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + Reconstituyente metabólico (R; $n = 29$), T3: AC + Efecto Macho (EM; $n = 32$) y T4: AC + R + EM ($n = 30$). Se observó el porcentaje de ovulación a los 29 y 50 días postparto (d pp), cambios de peso en ovejas y corderos, incidencia e inicio del estro, retorno, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad. El análisis de datos se realizó con el método de tiempos de vida, modelos de regresión Logística, Poisson, Binomial negativa y Modelo mixto. El porcentaje de ovulación a los 29 d pp fue mayor ($p \leq 0.05$) para los tratamientos con efecto macho (T3 y T4; 75.0 y 73.3 %, respectivamente) con respecto a los sin exposición al macho (T1 y T2; 44.8 % y 48.3 %, respectivamente). Los cambios de peso en ovejas y corderos fueron diferentes ($p \leq 0.05$) en los periodos. El tiempo al inicio del estro fue similar ($p > 0.05$) para T1 y T2 (25.9 ± 1.9 y 25.7 ± 0.7 h), pero menores ($p \leq 0.05$) a T3 (31.1 ± 1.6 h); T3 y T4 fueron similares (31.1 ± 1.6 y 28.6 ± 1.7 h). El porcentaje de gestación y parición fue mayor para T2 (86.2 %) en relación a T1, T3 y T4 (55.1, 62.5 y 60.7 %). El porcentaje de ovulación a los 50 d pp, incidencia al estro, retorno al estro, fertilidad, fecundidad y prolificidad fueron similares entre tratamientos ($p > 0.05$). La presencia del carnero influyó positivamente en el restablecimiento ovárico postparto a los 29 días en ovejas de pelo. El uso de un reconstituyente metabólico puede utilizarse como una estrategia para mejorar la homogeneidad y sincronización del estro, gestación y parición, en ovejas de pelo durante el postparto dentro de un protocolo corto de inducción, sin afectar los pesos de ovejas y corderos.

Palabras Clave: feromonas, estimulante metabólico, anestro postparto.

4.2. INTRODUCCIÓN

Las ovejas que presentan un intervalo entre partos prolongado, disminuyen considerablemente la eficiencia en los rebaños, lo que afecta a los productores económicamente al disminuir la cantidad de corderos por año y reducir sus ingresos económicos. Por lo anterior, la función reproductiva de ovinos puede controlarse con la utilización de productos hormonales (Menchaca y Rubianes, 2004); sin embargo, su utilización es limitada, debido a su alto costo y a la demanda de productos inocuos (Viñoles *et al.*, 2009; Gallegos-Sánchez *et al.*, 2013). El uso de la bioestimulación con el carnero, conocido como “efecto macho”, es una alternativa al uso de hormonales para inducir a las hembras a la ciclicidad postparto (Hawken y Martin, 2012; Arellano-Lezama *et al.*, 2013).

Después del parto, la hembra presenta un desbalance metabólico debido a la remoción de reservas para producir leche (Butler, 2000), el cual puede ser una causa por la que las hembras no reactiven su función reproductiva y se prolongue el anestro postparto, por lo que la implementación de reconstituyentes metabólicos es una alternativa para recuperar el equilibrio y mejorar la reproducción (Hernández, 2015).

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta reproductiva y productiva postparto de las ovejas de pelo al uso del efecto macho por 25 días y a un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona y la aplicación de un reconstituyente metabólico (Metabolice®) dos días antes del retiro del progestágeno.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1. Ubicación

El estudio se realizó de diciembre 2011 a junio 2012, en el Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa) del Colegio de Postgraduados, localizado en Montecillo, estado de México, México; a una altitud de 2250 m, en las coordenadas geográficas 19° 29´ latitud norte y 98° 53´ longitud oeste, siendo el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988).

4.3.2. Animales

Se utilizaron 120 ovejas adultas de pelo con una edad promedio de 4 a 5 años y sus respectivos corderos, provenientes de partos simples, dobles y triples. El peso promedio de las ovejas fue de 58.4 ± 0.78 kg presentaron una condición corporal de 3.5 a 4.0 unidades en la escala de Russel *et al.* (1969) que va de uno (muy flacas) a cinco (muy gordas).

4.3.3. Manejo de ovejas y corderos

Las ovejas estuvieron aisladas de los sementales durante toda la gestación. A los 50 días de gestación, se les aplicó vía subcutánea una dosis del producto comercial MuSe® (Laboratorios Schering-Plough, cada mL contiene selenito de sodio 10.95 mg, equivalente a 5 mg de selenio, vitamina E 68 UI) por animal, a razón de 1 mL 50^{-1} kg de peso vivo (PV). A los 90 días de gestación a las ovejas, se les aplicó vía subcutánea 2 mL de la vacuna Toxo-Bac Neumonías® (INIFAP) para prevenir y pasar inmunidad a sus fetos contra esta enfermedad. Cada cordero al nacer se le desinfectó el ombligo sumergiéndolo en una solución de yodo metálico al 5 % con alcohol y se aplicó vía subcutánea 2 mL de solución de Metabolice® (Laboratorio Schutze-Segen) y 0.2 mL del producto MuSe®.

Los corderos se destetaron a los 60 días postparto y se instalaron en corrales provistos de comederos y agua a libre acceso. Para secar a las ovejas, se les privó de agua durante un día, se alimentó con heno por dos días, ordeñaron cada tercer día y posteriormente se fueron espaciando en aquellas ovejas con producción de leche. A partir del parto de las ovejas y corderos se pesaron cada nueve días hasta los 81 días.

4.3.4. Tratamientos

A los ocho días después del parto, las ovejas y sus corderos se distribuyeron a uno de los siguientes tratamientos: T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + Reconstituyente metabólico (R; $n = 29$), T3: AC + Efecto macho (EM; $n = 32$) y T4: AC + R + EM ($n = 30$), donde n indica el número de individuos en el experimento (Figura 4).

4.3.5. Alimentación y alojamiento

Las ovejas y sus respectivos corderos se alojaron en cuatro corrales con piso de arcilla con un espacio de 2.5 m² por hembra. Se alimentaron dos veces al día en el mismo comedero, ofreciéndoles cada vez 2.0 kg oveja⁻¹ de un alimento balanceado (heno de avena 70 % y 30 % de un concentrado comercial; Borrega Plus®, Unión Tepexpan con 15 % de proteína cruda y 2.9 Mcal de energía metabolizable kg de MS⁻¹).

El agua y las sales minerales (Vitasal reproductor®, SEPA) se ofrecieron a libre acceso a los animales. Los corderos se alimentaron de la leche de sus madres y, a partir del día 11 de edad se les ofreció un concentrado iniciador (Iniciador dulce-20®, MNA; con 20 % de proteína cruda) a libre acceso hasta el destete realizado a los 60 días postparto. Posteriormente, se les proporciono de manera paulatina una dieta integral de engorda.

4.3.6. Manejo de carneros

Se utilizaron seis carneros de diferentes razas, con edad promedio de 4 a 5 años, en buena condición corporal y con buena libido. Los carneros se aislaron de las hembras durante toda la gestación y se alimentaron a razón de 2.5 kg carnero⁻¹ de la misma dieta de las ovejas distribuida en dos ocasiones. En las ovejas con los tratamientos con AC + EM y AC+ R + EM (T3 y T4) se les introdujo durante dos ocasiones, dos carneros provistos con un mandil por 30 min d⁻¹ (8:00 y 16:00 h) cada uno a partir del día ocho hasta el día 33 postparto (Figura 4). La rotación de carneros se realizó todos los días para evitar que las ovejas se acostumbraran al mismo carnero.

4.3.7. Toma de muestras sanguíneas

Para determinar la concentración de progesterona (P₄), se tomaron muestras de sangre a todas las ovejas en los días 24, 29, 47 y 50 postparto (pp; Figura 4) vía punción de la vena yugular y recolectada en tubos vacutainer sin anticoagulante. Posteriormente las muestras se centrifugaron a 693 x *g* durante 15 min (2500 rpm, centrifuga Solbat® C-600) para recolectar el suero por decantación y conservarlo a -20 °C hasta su análisis. La determinación de progesterona se realizó por radioinmunoanálisis en fase sólida (COAT-A-COUNT® Siemens) con una sensibilidad del análisis de 0.02 ng/mL y un coeficiente de variación intraensayo de 8.8 %. Se consideró que una oveja restableció su actividad ovárica si la concentración de P₄ fue mayor a 0.5 ng/mL⁻¹ en dos muestras consecutivas o más de 1 ng/mL⁻¹ de P₄ en una sola muestra.

Los primeros muestreos en los días 24 y 29 postparto en las ovejas se realizaron para determinar el porcentaje de ovejas con un cuerpo lúteo (CL) funcional antes de sincronizarlas y si el uso del efecto macho influyó en el porcentaje de ovejas que ovularon antes de los 29 días postparto. A su vez, los muestreos en los días 47 y 50 se realizaron con la finalidad de determinar si la ovulación presentada después del estro, mantuvo la formación de un CL de vida media normal o de vida media corta.

4.3.8. Protocolo de inducción al estro

Las ovejas se les indujo al estro con la aplicación de un dispositivo intravaginal (CIDR® Laboratorios Pfizer) con 0.3 g de P₄, durante cinco días. En el tercer día se aplicó, vía intramuscular un mL de un análogo de PGF_{2α} (265 mcg Cloprostenol, Celosil®, Laboratorios Shering-Plough) a todas las ovejas, con la finalidad de lisar cualquier cuerpo lúteo presente y homogeneizar el estado fisiológico del ciclo estral. Adicionalmente, a las ovejas de los T2 y T4, se les aplicó una dosis de 200 mL de reconstituyente metabólico (Metabolice® Laboratorios Schutze-Segen, cada 100 mL contiene hidrocloreuro de l-carnitina 613.3 mg, ácido tióctico 20 mg, hidrocloreuro de piridoxina 15 mg, cianocobalamina 3 mg, d-l-acetilmetionina 2 000 mg, l-arginina 240 mg, hidrocloreuro de l-ornitina 153.2 mg, l-citrulina 120 mg, hidrocloreuro de l-lisina 62.5 mg, glicina 150 mg, ácido aspártico 150 mg, ácido glutámico 150 mg, fructosa 5 000 mg y sorbitol 8 000 mg) por animal, aplicando 100 mL por vía intravenosa y 100 mL vía subcutánea (Figura 4).

En el día cinco del protocolo, se retiraron los dispositivos de P₄ y se inició la detección de estros, cada 4 h durante 70 h. Se consideró que una oveja no había respondido al tratamiento si no presentó estro durante este lapso de tiempo. La detección de estros se realizó utilizando seis carneros de diferentes razas con edad promedio de 4 años, provistos con mandil. Se consideró que una oveja presento estro cuando permaneció inmóvil y permitió la monta del carnero. Posteriormente, 12 h después de detectado el estro, las hembras se inseminaron artificialmente (IA, Figura 4) en una sola ocasión de forma intrauterina con 0.25 mL de semen refrigerado, diluido a una concentración promedio de 230 x 10⁶ espermatozoides por mL. El semen utilizado para la IA se colectó de cuatro carneros, dos de la raza Damara y dos de la raza Dorper con edad promedio de dos años, los cuales fueron representados en todos los tratamientos y a los que previamente se les verifico su calidad seminal, con pruebas macroscópicas y microscópicas de volumen, color, densidad, movilidad en masa y movilidad individual.

4.3.9. Inseminación por laparoscopia

Las ovejas se les suprimió de agua y comida 12 h antes de realizar la IA para reducir el contenido ruminal y localizar más rápidamente los cuernos uterinos y evitar la regurgitación. La IA se llevó a cabo 12 h después de la detección del estro. Antes de realizar la inseminación, el vientre de las ovejas se lavó en un área de 10 a 12 cm² delante de la ubre hacia la parte anterior y, la piel se esterilizó con cloruro de benzalkonio al 1 %. El tren posterior de las hembras se levantó en un ángulo de 40-45° utilizando una camilla especial para IA. Se aplicó 1 mL de anestésico local (Xilocaína al 2 %®, Astra) vía subcutánea, aproximadamente de 3 a 4 cm a cada lado de la línea media y, 4 mL de Emicina LA® (Tetraciclina, 1 mL/10 kg PV., Laboratorios Pfizer) vía intramuscular, como antibiótico. El trocar, la cánula y el telescopio utilizados, fueron inmersos en una solución antiséptica (Cloruro de Benzalkonio al 1 %), posteriormente fue provocado el neumoperitoneo. En seguida, el trocar y el explorador se insertaron en la cavidad peritoneal al lado izquierdo y derecho de la línea media; localizados los cuernos uterinos mediante el endoscopio, se procedió a introducir la pistola previamente preparada con una pajilla de 0.25 mL y depositar el semen. Una vez retirada la pistola y el trocar, se aplicó un cicatrizante (Topazone® Furazolidona, Laboratorios PiSA) en las perforaciones para evitar futuras infecciones.

4.3.10. Medición de Fertilidad

Después de la IA se realizó la detección de estros todos los días (mañana y tarde por 30 min) hasta el día 20 post-inseminación (Figura 4), con la ayuda de carneros provistos de mandil, para observar a las hembras que no quedaron gestantes, al mostrar retorno a estro, e identificar a las gestantes al no retornar al estro.

4.3.11. Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó 40 días después de la IA usando un ecógrafo portátil (USM CTS-900®, Shantou Institute of Ultrasonic Instruments) equipado con un transductor abdominal de 3.5-7 Mhz (Figura 4).

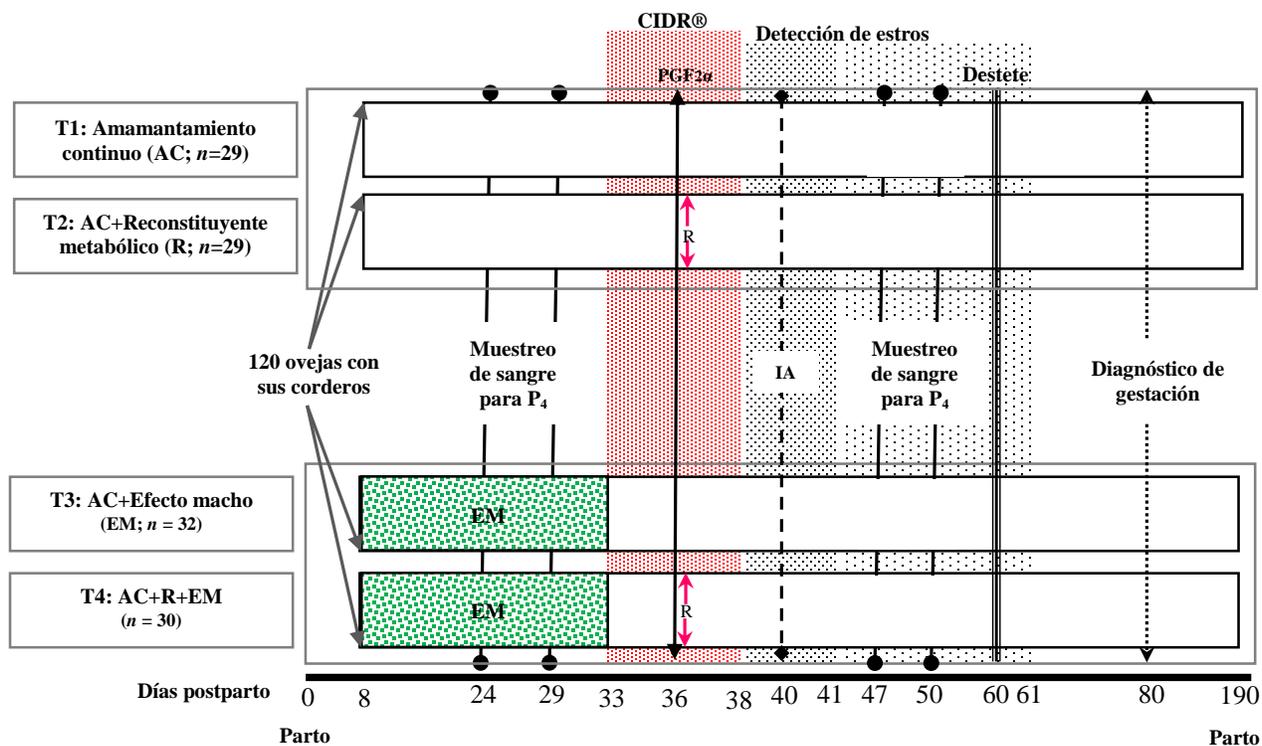


Figura 4. Esquema del protocolo de investigación en el estudio I.

4.3.12. Variables de respuesta

Las variables evaluadas en el estudio fueron: porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 y 50 d pp, los cambios de peso corporal en ovejas y corderos hasta los 81 d pp. Dentro del protocolo de inducción, se evaluaron: incidencia e inicio al estro, retorno a estro, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad.

Ovejas que reiniciaron su actividad ovárica a los 29 días postparto.

Determinado como el número de ovejas que ovularon, detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 24 y 29 d pp.

Ovejas que ovularon a los 50 días postparto. Determinado como el número de ovejas que ovularon después de la inducción con P₄ y detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 47 y 50 d pp.

Cambio de peso corporal en ovejas. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 81 días postparto.

Cambio de peso corporal en corderos. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 81 días de edad.

Del protocolo de inducción.

Incidencia de estros. Se calculó como el número de ovejas a las que se les observó manifestaciones externas de estro dividido entre el total de ovejas en el tratamiento.

Inicio del estro. Tiempo al estro de las ovejas después de retirado el CIDR.

Retorno a estro. Número de ovejas que manifestaron estro durante 20 días después de la inseminación artificial.

Fertilidad. Número de ovejas que no retornaron a estro durante 20 días post-inseminación, determinada con la ayuda de machos provistos de mandil y confirmado con ultrasonografía 40 días después de la IA, del total del tratamiento.

Gestación. Número de ovejas que resultaron positivas al diagnóstico de gestación a los 40 días después de la inseminación artificial, del total de ovejas en el tratamiento.

Parición. Número de ovejas que parieron, después del primer servicio, del total de ovejas en el tratamiento.

Fecundidad. Número de corderos nacidos entre el número de ovejas en el tratamiento.

Prolificidad. Número de corderos nacidos por oveja parida.

4.3.13. Análisis estadístico

El análisis de la variable tiempo al inicio del estro se realizó mediante el método de tiempos de vida usando el estimador de Kaplan-Meier (Ecuación 1) y usando la rutina PROC LIFETEST incluida en SAS/STAT (SAS, 2002); las diferencias entre tratamientos se determinaron con la prueba Long-Rank (Kalbfleish y Prentice, 2002).

$$\hat{S}(t) = \prod_{t(i) \leq t} \left(\frac{n_i - d_i}{n_i} \right)^{\delta_i}, \quad (1)$$

Donde, $\hat{S}(t)$ es la función de supervivencia estimada al tiempo t , n es el tamaño de muestra, i es el número de supervivientes al tiempo t , δ_i es una variable indicadora que toma el valor de 1 si $t_i > c$ y el valor de 0 de otro modo, donde c es el tiempo que duró el experimento.

El número de ovejas que ovularon a los 29 y 50 días postparto, así como las variables incidencia de estro, retorno a estro, fertilidad, gestación y parición se analizaron con el modelo de regresión logística usando la rutina PROC LOGISTIC incluida en SAS/STAT. Por ejemplo, la probabilidad de una oveja de entrar al estro (p) es modelada usando la Ecuación 2:

$$\log \left(\frac{p}{1-p} \right) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (2)$$

Donde, \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo, por ejemplo tratamientos y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables.

Para el análisis de fecundidad y prolificidad, se utilizaron las regresiones Poisson (Ecuación 3) y Binomial Negativa (Lawless, 1987), respectivamente. Los modelos fueron ajustados usando la rutina PROC GENMOD incluida en SAS/STAT.

Por ejemplo, para prolificidad, se supone Y_{ij} (el número de corderos que pare la oveja j para el tratamiento i -ésimo) se distribuye como una variable aleatoria Poisson, es decir, $Y_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij})$, donde λ_{ij} es una función lineal de las covariables (en este caso los tratamientos),

$$\log(\lambda) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (3)$$

Donde \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables. Para probar diferencias entre efecto de tratamientos se utilizó la prueba de razón de verosimilitudes generalizada con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Los cambios de peso corporal en ovejas y corderos se analizaron por mediciones repetidas utilizando el modelo mixto (Littell *et al.*, 1998), con la rutina PROC MIXED de SAS/STAT y se compararon medias con la prueba de Tukey. El modelo se presenta en la Ecuación 4.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}, \quad (4)$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z} , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2)$, es el error, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2)$.

Por ejemplo para el peso de corderos el modelo es el siguiente:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{Z}_2 \mathbf{u}_2 + \mathbf{e},$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_o^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{u}_2 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_c^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2 \mathbf{I})$, es el error.

4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1. Porcentaje de ovulación

El porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 d pp fue diferente ($p \leq 0.05$) para las ovejas expuestas al macho (T3 y T4) con respecto a las que no fueron expuestas al macho (T1 y T2), no así a los 50 d pp (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento	N	29 días postparto. Ovejas que ovularon	% ovulación	50 días postparto. Ovejas que ovularon	% Ovulación
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	13	44.8 ^a	29	100.0 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)†	29	14	48.3 ^a	29	100.0 ^a
T3: AC+Efecto macho (EM)	32	24	75.0 ^b	31	96.8 ^a
T4: AC+R+EM	30	22	73.3 ^b	30	100.0 ^a

† Aplicación en el día 36 postparto.

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La respuesta ovulatoria obtenida a los 29 d postparto en las ovejas expuestas al carnero (T3 y T4) fue debida al efecto estimulador del carnero, ya que cada reintroducción del carnero con las ovejas induce un incremento en los pulsos de GnRH y LH (Hawken *et al.*, 2008); estos sucesivos incrementos provocan la reactivación ovárica de las hembras y su ovulación (Gelez y Fabre-Nys, 2004; Bedos *et al.*, 2010).

En un estudio similar, al introducir un macho en dos periodos de tiempo de 30 min, Morales-Terán *et al.* (2011) observaron un 65 % de ovejas ovulando a los 50 días postparto, valor inferior obtenido en este estudio; se sugiere que esta diferencia se debe al tiempo de contacto entre los machos y las hembras.

A su vez, Cruz (2011) encontró un porcentaje de ovulación de 92.4 % en ovejas antes de los 35 d pp, lo cual es superior al de este estudio. Lassoued *et al.* (2004) encontraron que todas las ovejas ovularon con la presencia continua del macho antes de los 50 d pp, siendo el promedio de días a la primera ovulación de 20.3 (\pm 9.7). Los resultados anteriores, muestran que la introducción de machos provoca un estímulo positivo para reactivar la ciclicidad de las ovejas en anestro postparto, reduciendo el efecto negativo que ejerce el estradiol y el amamantamiento, dando a las hembras mayor oportunidad de quedar gestantes al iniciar su actividad cíclica más rápido, reduciendo el periodo postparto.

Es importante resaltar que a los 29 días postparto el 46.6 % de las ovejas sin ningún estímulo, habían reiniciado su actividad ovárica, indicando la existencia de variaciones individuales entre animales, lo cual podría considerarse como una posibilidad de selección de ovinos con menor efecto al anestro postparto.

A los 50 días postparto no se encontró diferencia en el porcentaje de ovulación entre tratamientos, indicando que la administración de progesterona en un periodo corto (5 d) fue capaz de inducir a las ovejas en el postparto, formando un cuerpo lúteo de vida media normal. Pudiendo ser también atribuible a la estimulación del macho y al uso del reconstituyente metabólico. Otros estudios similares con efecto macho y amamantamiento continuo muestran la misma respuesta después de un protocolo de sincronización. Castillo (2012) encontró un porcentaje de ovulación de 91.7 % a los 10 días de retirado el CIDR; Montiel (2014) introduciendo el macho por tres días cada 6 horas encontró 95 % de ovulación a los seis días de haber retirado los CIDR, ambos similares a este estudio. Sin embargo, los estudios antes mencionados difieren en la respuesta en animales con exclusivamente amamantamiento continuo donde encontraron aproximadamente 48 % de ovulación.

4.4.2. Incidencia e inicio al estro

En promedio la respuesta a la incidencia de estros en ovejas de pelo durante el postparto fue de 98.3 %, y no fue diferente entre tratamientos ($p > 0.05$; Cuadro 2), sugiriendo que la aplicación del reconstituyente metabólico durante el protocolo de inducción y la introducción del macho por 25 días, no tuvieron efecto en la presentación de estros.

Cuadro 2. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento	Hembras inseminadas/Total	Incidencia al estro (%)	Inicio al estro (h)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29/29	100.0 ^a	25.9 \pm 1.9 ^{ab}
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	29/29	100.0 ^a	25.7 \pm 0.7 ^a
T3: AC+Efecto macho (EM)	32/32	100.0 ^a	31.1 \pm 1.6 ^c
T4: AC+R+EM	28/30	93.3 ^a	28.6 \pm 1.7 ^{bc}

^{a, b, c.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La respuesta en la presentación al estro muestra la efectividad del progestágeno para inducir la presentación del estro en ovejas; cinco días de progesterona mostraron ser suficientes para la expresión del estro, e incrementar la sensibilidad de los estrógenos (Fabre-Nys y Martin, 1991) para iniciar un pico preovulatorio de LH, por lo que al retirar el dispositivo, el estro ocurre en un lapso aproximado de 48 h (Evans *et al.*, 2002). Al respecto de tratamientos cortos con progestágenos, Viñoles *et al.* (2001) mencionan que estos tratamientos mejoran la inducción al estro y la fertilidad con respecto a los tratamientos largos (9 días 75 %; 6 días 87 %). En un estudio similar con ovejas en el postparto, con un protocolo de cinco días, encontraron una presentación del estro de 94.4 %, semejante a la encontrada en este estudio (Méndez, 2014).

El tiempo al inicio al estro fue diferente ($p \leq 0.05$) en las ovejas con el reconstituyente metabólico (T2) con respecto a las ovejas expuestas al macho (T3) y su combinación (T4) y similar al testigo (T1). Las ovejas con efecto macho (T3) obtuvieron el mayor tiempo al inicio del estro (Cuadro 1).

Las curvas de supervivencia para los tiempos de inicio del estro muestran que el 100 % de las ovejas del T2 presentaron estro antes de las 40 h, mientras que las del T4 (AC + R + EM) tuvieron una distribución más amplia y presentaron ovejas que no exhibieron estro (censura) por lo que el tiempo se extendió más allá de las 70 h (Figura 5).

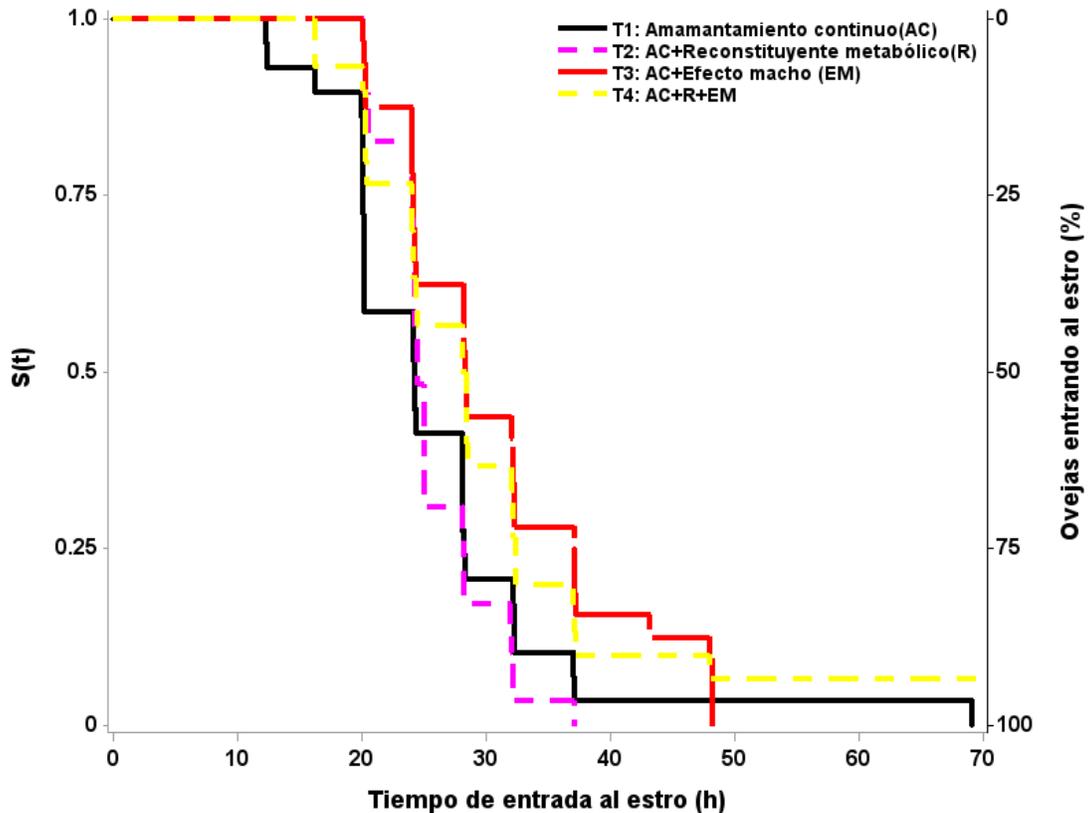


Figura 5. Curvas de supervivencia de tiempo al inicio del estro en ovejas en el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Se sugiere que la respuesta observada a la aplicación del reconstituyente durante el protocolo, fue a que mejoró el estado metabólico de las ovejas, así como el estímulo de los aminoácidos como arginina, aspartato y glutamato que se encuentran en el producto, los cuales son relacionados con el incremento en la frecuencia pulsátil de GnRH/LH y FSH (Bucholtz *et al.*, 1996; Ruiz y Kittok, 2008), las cuales tienen efectos positivos sobre el desarrollo folicular y producción de estrógenos, provocando un inicio del estro más rápido y mejor sincronizado.

Las ovejas provenientes de los tratamientos con efecto macho (T3 y T4), el inicio del estro se alargó por más tiempo, quizá por un desarrollo folicular más lento. Sin embargo, es evidente que la aplicación del reconstituyente metabólico mejora la respuesta en las ovejas con la combinación con efecto macho (T4). En otros estudios en ovejas en el postparto, encontraron que el estro comienza a las 60 y 72 h después de retirado el CIDR para los tratamientos AC y AC + EM, respectivamente (Castillo-Maldonado *et al.*, 2013) y utilizando el efecto macho 15 días antes de la inserción de un CIDR en ovejas en el postparto Hernández-Marín *et al.* (2014) observaron un inicio del estro de 34.21 ± 0.77 y 51.68 ± 0.58 h para AC y AC + EM, ambos resultados mayores a los encontrados en este estudio. Por lo anterior se sugiere que al realizar el manejo del carnero se acorta el inicio del estro comparado con otros protocolos en ovejas en el postparto, pero que la aplicación del reconstituyente metabólico ayudó a acelerar y agrupar el inicio del estro.

4.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad

El promedio general del porcentaje de retorno al estro fue de 24.6 % y 75.4 % para fertilidad. Para ambas variables no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento	Hembras inseminadas	Retorno al estro (%)	Fertilidad (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	(8) 27.5 ^a	(21) 74.4 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	29	(4) 13.7 ^a	(25) 86.2 ^a
T3: AC+Efecto macho (EM)	32	(8) 25.0 ^a	(24) 75.0 ^a
T4: AC+M+EM	28	(9) 32.1 ^a	(19) 67.9 ^a

a, b. Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La presencia de retorno al estro en ovejas, se debe a fallas en la ovulación, fecundación o a una mortalidad embrionaria temprana (Bari *et al.*, 2003), sin descartar fallas en la inseminación artificial, lo que pudo haber sucedido en este estudio. Hernández-Marín *et al.* (2014) reportan en ovejas con efecto macho y amamantamiento un porcentaje de retorno al estro de 22 y 63 % para AC + EM y AC, respectivamente, valores que son similares a los tratamientos con efecto macho del presente estudio, pero mayores para ovejas con AC.

La fertilidad está determinada por la respuesta al tratamiento hormonal, la presentación de estros y ovulaciones después de retirar el progestágeno (López-Sebastián, 1991). En un estudio con ovejas Corriedale en el postparto expuestas al efecto macho por 60 días, alimentación suplementaria durante la época de servicio y un protocolo de sincronización de 12 días con esponjas de MAP encontraron una fertilidad de 78 % (Ramos *et al.*, 2005), siendo similar a la encontrada en este estudio. Sin embargo para el presente, no se encontraron diferencias. Se puede observar que numéricamente el tratamiento con la aplicación del reconstituyente metabólico mejora el porcentaje de fertilidad.

4.4.4. Porcentaje de gestación y parición

La media general para ambas variables fue de 66.1 %, se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) para las ovejas con la aplicación del reconstituyente metabólico (T2), en comparación con el resto de los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento	Gestación (%)	Parición (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	(16) 55.1 ^a	(16) 55.1 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	(25) 86.2 ^b	(25) 86.2 ^b
T3: AC+Efecto macho (EM)	(20) 62.5 ^a	(20) 62.5 ^a
T4: AC+R+EM	(17) 60.7 ^a	(17) 60.7 ^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La aplicación de nutrientes en hembras, se dice que puede favorecer la producción de óvulos, su fecundación y su implantación, por lo cual puede mejorarse la fertilidad y prolificidad, resultado de un incremento en la sobrevivencia embrionaria (Heredia *et al.*, 1985). Esto pudo haber pasado en las ovejas con el reconstituyente metabólico el cual ayudó a mejorar el desarrollo folicular, la calidad de cuerpos lúteos y la sobrevivencia embrionaria, con el fin de mantener una gestación y llegar al parto.

La exposición de las ovejas al macho provocó la presencia de ciclos cortos, observados generalmente después de la primera ovulación postparto (Martin *et al.*, 1986; Flores *et al.*, 2000). Estos cuerpos lúteos son de baja calidad y no son capaces de mantener la gestación y se reabsorben. Cruz (2011) reportó resultados menores (54 %) al usar efecto macho. Los menores porcentajes se obtuvieron en ovejas con amamantamiento continuo (T1; Cuadro 4), lo que confirma que el amamantamiento sigue siendo uno de los factores que más influye en la inhibición de la actividad ovárica.

4.4.5. Fecundidad y prolificidad

El promedio de fecundidad y prolificidad fue de 1.4 ± 0.21 y 2.14 ± 0.18 corderos oveja⁻¹, respectivamente. Sin diferencia ($p > 0.05$) entre tratamientos para ninguna de las variables (Cuadro 5), sugiriendo que el uso del reconstituyente metabólico y el efecto macho no afectaron estas variables.

Cuadro 5. Fecundidad y prolificidad (Medias \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento	Número de crías	Media \pm EE	
		Fecundidad	Prolificidad
T1: Amamantamiento continuo (AC)	30	1.03 ± 0.22^a	1.86 ± 0.21^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	51	1.76 ± 0.22^a	2.04 ± 0.16^a
T3: AC+Efecto macho (EM)	45	1.41 ± 0.21^a	2.25 ± 0.18^a
T4: AC+R + EM	41	1.37 ± 0.22^a	2.41 ± 0.20^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Los valores obtenidos para prolificidad y fecundidad son similares a los 1.5 y 1.7 corderos oveja⁻¹ reportados por Castillo Maldonado *et al.* (2013), en ovejas de pelo en amamantamiento continuo usando progestágenos y efecto macho con condiciones similares.

Para incrementar el porcentaje de partos múltiples y la fecundidad, es necesario aumentar la tasa ovulatoria y la fertilidad, lo cual puede lograrse con el efecto macho (Salloum y Claus, 2005) y una buena nutrición. A pesar de no encontrarse diferencias estadísticas, es interesante el incremento numérico en algunos tratamientos causados por un incremento en hembras gestantes y en la prolificidad.

4.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos

Los cambios de peso corporal en las ovejas no fue diferente ($p > 0.05$) entre los tratamientos, pero si entre periodos ($p \leq 0.05$; Anexo 1).

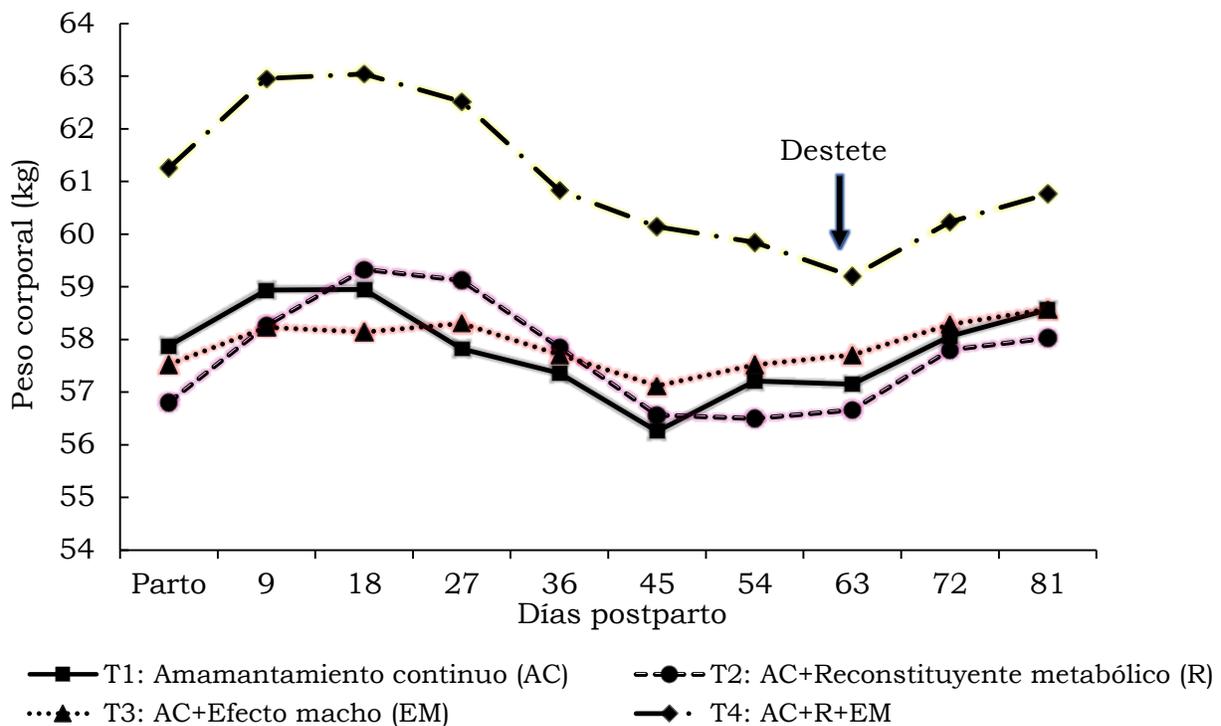


Figura 6. Cambios de peso corporal en ovejas de pelo durante el postparto sometidas a efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

En los primeros dos periodos después del parto (0-18 d) se observó un aumento de peso para todas las ovejas, derivado de la buena condición corporal en que se encontraban las hembras al momento del parto, aunado a la alimentación que cubría sus requerimientos nutricionales, lo que permitió que las ovejas no removieran nutrientes y perdieran peso. Autores como Pérez-Hernández *et al.* (2009) y Morales-Terán *et al.* (2011) mencionan que las ovejas que permanecen todo el día con sus corderos suelen perder más peso que aquellas a las que se les controla el amamantamiento, debido a una mayor síntesis de leche a costa de sus reservas corporales; mientras que Godfrey y Dodson (2003) mencionan que la pérdida de peso durante la lactancia, limita el restablecimiento de la ciclicidad en las ovejas durante el postparto, por lo cual una mala condición corporal, prolonga el intervalo postparto.

Sin embargo, Castillo-Maldonado *et al.* (2013) observaron en ovejas a las que se les cubrió sus requerimientos nutricionales, estas no presentaron diferencias entre los pesos corporales en grupos de amamantamiento continuo y controlado.

Se observó una pérdida de peso en las ovejas entre los días 27 al 45, debido a que en éste periodo los corderos necesitan más nutrientes para su crecimiento; por lo que las hembras tuvieron que remover mayor cantidad de nutrientes para la producción de leche, reflejándose en las ganancias de peso de los corderos (Figura 7). Relling y Mattioli (2002) sugieren que entre las semanas tres y ocho, los corderos necesitan mayor aporte de nutrientes, debido a que la leche no cubre sus necesidades por lo que es necesario proporcionarlo con alimento sólido. Posterior a los 45 días las hembras tienden a aumentar de peso hasta el destete de los corderos (60 días), donde vuelven a perder peso debido al estrés ejercido por la separación de las crías. Sin embargo, seguidamente las ovejas reponen las reservas corporales y ganan peso (Figura 6; Anexo 1) al ya no tener al cordero.

El cambio de peso corporal en corderos fue afectado por el periodo ($p \leq 0.05$), observándose un aumento conforme transcurrieron los días (Figura 7; Anexo 2). El peso al destete promedio fue de 15 kg, es aceptable si se compara con lo reportado por otros autores para corderos de pelo (11 a 17 kg, Pérez-Hernández *et al.*, 2009; Arroyo *et al.*, 2011; Morales-Terán *et al.*, 2011; Hinojosa-Cuéllar *et al.*, 2012).

Las diferencias en la alimentación preparto y postparto de las madres, así como la cantidad y calidad del complemento alimenticio al que tuvieron acceso los corderos, explican parcialmente el peso al destete. Después del destete descendió el peso (63 a 72 d), debido a la separación de sus madres, pero posteriormente tienden a aumentar de peso (Figura 7).

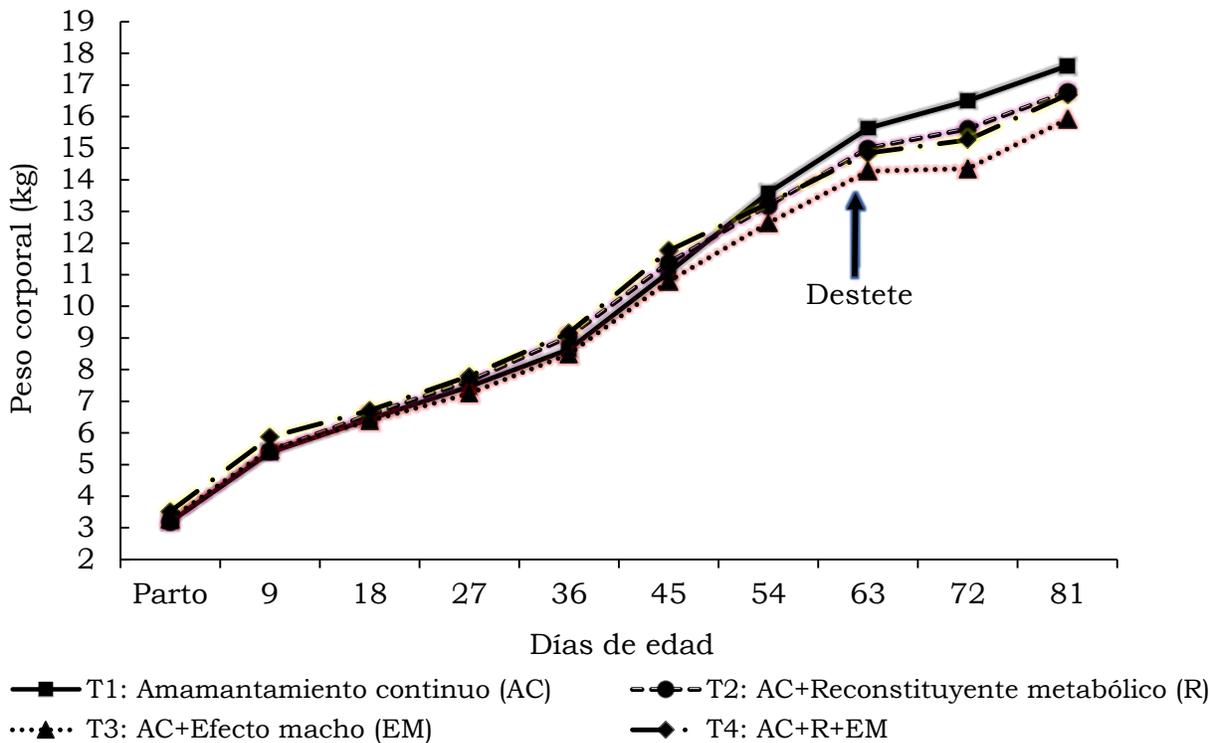


Figura 7. Cambio de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 81 días de edad.

Los anteriores resultados indican que en las hembras el destete les permite reponer sus reservas corporales, mientras que en el cordero el destete causa pérdida de peso durante un periodo muy corto, tendiendo después a ganar peso.

4.5. CONCLUSIONES

El efecto macho permite que las ovejas inicien su actividad ovárica cíclica antes de los 29 días postparto, lo cual acorta el periodo postparto y permite una mayor oportunidad de que las hembras queden gestantes. El uso de un reconstituyente metabólico puede utilizarse como una estrategia para homogenizar y sincronizar el estro, mejorar la gestación y el parto, en ovejas de pelo durante el postparto, sin afectar los pesos de ovejas y corderos.

V. ESTUDIO II. Reconstituyente metabólico y Somatotropina bovina recombinante (rBST) en ovejas de pelo durante el postparto.

5.1. RESUMEN

Se evaluó la respuesta reproductiva y productiva postparto de ovejas de pelo al uso de somatotropina bovina recombinante (rBST) en el día 18 y en el día 36 junto con un reconstituyente metabólico (R; Metabolase®) en un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona. Se utilizaron 94 hembras y sus corderos, asignadas al azar a uno de cuatro tratamientos: T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + R ($n = 29$), T3: AC + rBST ($n = 17$) y T4: R + rBST ($n = 19$). Se observó el porcentaje de ovulación a los 29 y 50 días postparto (d pp), cambios de peso en ovejas y corderos, incidencia e inicio del estro, retorno, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad. El análisis de datos se realizó con el método de tiempos de vida, modelos de regresión Logística, Poisson, Binomial negativa y Modelo mixto. A los 29 d pp, el porcentaje de ovulación fue mayor ($p \leq 0.05$) para T4 (78.9 %) en comparación con T1, T2 y T3 (44.8, 48.3 y 11.7 %). A los 50 d pp fue mayor ($p \leq 0.05$) T1 y T2 (100 y 100 %) respecto a T3 y T4 (76.6 y 89.5 %). El cambio de peso corporal fue diferente ($p \leq 0.05$) para tratamientos en corderos y periodo e interacción tratamiento por periodo en ovejas y corderos. El T3 fue menor ($p \leq 0.05$) para incidencia, inicio del estro y fertilidad (52.9 %, 26.8 ± 1.9 h y 33.3 %) pero mayor para retorno (66.6 %). El T2 fue mayor ($p \leq 0.05$) para gestación, parición y fecundidad (86.2 %, 86.2 % y 1.76 ± 0.22) en comparación a T1 y T3 (55.1 %, 55.1 % y 1.03 ± 0.22 ; 33.3 %, 22.2 % y 0.23 ± 0.23) y similar a T4 (63.2 %, 63.2 % y 1.37 ± 0.22). No hubo diferencias ($p > 0.05$) para prolificidad. La aplicación de rBST influyó negativamente sobre las variables reproductivas y el peso corporal de las ovejas, pero no sobre el peso corporal de corderos. El uso del reconstituyente metabólico incrementa el porcentaje de gestación, parición y fecundidad; y en combinación con rBST mejora las respuestas reproductivas dentro de un protocolo de inducción por cinco días.

Palabras Clave: hormona de crecimiento, bioestimulante, anestro postparto.

5.2. INTRODUCCIÓN

Para que las ovejas puedan manifestar un potencial reproductivo eficiente, deben de reiniciar su ciclicidad lo más pronto posible después del parto. Dos factores principales relacionados con la actividad ovárica después del parto y que prolongan la duración del periodo postparto son el amamantamiento y la nutrición (Arroyo-Ledezma *et al.*, 2000, Rivas *et al.*, 2011).

Las altas demandas de nutrientes después del parto para la síntesis de leche y la limitada capacidad de consumo de alimentos, producen un desorden metabólico afectando negativamente la producción y secreción de GnRH/LH, lo que retrasa el reinicio de la actividad ovárica postparto (Mateus *et al.*, 2002). Una alternativa utilizada en cabras (Vergara, 2013) y ovejas (Bucholtz *et al.*, 1996; Bulbarela-García *et al.*, 2009) ha sido la adición de metabolitos (glutamato, aspartato, arginina, etc.) estimuladores de las gonadotropinas que incrementan la actividad ovárica y mejoran las variables reproductivas.

La utilización de somatotropina bovina recombinante (rBST) en el ganado ha tomado interés por el incremento en la producción de leche (Lucy *et al.*, 2000), y aumento de las concentraciones séricas de IGF-I e insulina circulantes. Sin embargo, también tiene efectos positivos sobre la producción de estradiol a nivel folicular (Khalid *et al.*, 2000) y el desarrollo embrionario temprano (Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013); por lo que al aplicarla en ovejas durante el postparto suele incrementar la producción de leche (Sallam *et al.*, 2005) y antes de la cubrición aumenta la fertilidad y prolificidad (Rodríguez, 2005; Sosa-Pérez *et al.*, 2014).

El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta reproductiva y productiva postparto de las ovejas de pelo a la aplicación de rBST en el día 18 y en el día 36 con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) dentro de un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona.

5.3. MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1. Ubicación

El estudio se realizó de diciembre 2011 a junio 2012, en el Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa) del Colegio de Postgraduados, localizado en Montecillo, estado de México, México; a una altitud de 2250 m, en las coordenadas geográficas 19° 29´ latitud norte y 98° 53´ longitud oeste, siendo el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988).

5.3.2. Animales

Se utilizaron 94 ovejas adultas de pelo con una edad promedio de 4 a 5 años y sus respectivos corderos, provenientes de partos simples, dobles y triples. El peso promedio de las ovejas fue de 57.4 ± 0.92 kg.

5.3.3. Manejo de ovejas y corderos

Las ovejas estuvieron aisladas de los sementales durante toda la gestación. A los 50 días de gestación, se les aplicó vía subcutánea una dosis del producto comercial MuSe® (Laboratorios Schering-Plough, cada mL contiene selenito de sodio 10.95 mg, equivalente a 5 mg de selenio, vitamina E 68 UI) por animal, a razón de 1 mL 50⁻¹ kg de peso vivo (PV). A los 90 días de gestación a las ovejas, se les aplicó vía subcutánea 2 mL de la vacuna Toxo-Bac Neumonías® (INIFAP) para prevenir y pasar inmunidad a sus fetos contra esta enfermedad. Cada cordero al nacer se le desinfectó el ombligo sumergiéndolo en una solución de yodo metálico al 5 % con alcohol y se aplicó vía subcutánea 2 mL de solución de Metabolice® (Laboratorio Schutze-Segen) y 0.2 mL del producto MuSe®. Los corderos se destetaron a los 60 días postparto y se instalaron en corrales provistos de comederos y agua a libre acceso.

Para secar a las ovejas, se les privó de agua durante un día, se alimentó con heno por dos días, ordeñaron cada tercer día y posteriormente se fueron espaciando en aquellas ovejas con producción de leche. A partir del parto de las ovejas y corderos se pesaron cada nueve días hasta los 63 días.

5.3.4. Tratamientos

A los ocho días después del parto, las ovejas y sus corderos se distribuyeron a uno de los siguientes tratamientos: T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + Reconstituyente metabólico (R; $n = 29$), T3: AC + Somatotropina bovina recombinante (rBST; $n = 17$) y T4: AC + R + rBST ($n = 19$), donde n indica el número de individuos en el experimento (Figura 8).

5.3.5. Alimentación y alojamiento

Las ovejas y sus respectivos corderos se alojaron en cuatro corrales con piso de arcilla con un espacio de 2.5 m² por hembra. Se alimentaron dos veces al día en el mismo comedero, ofreciéndoles cada vez 2.0 kg oveja⁻¹ de un alimento balanceado (heno de avena 70 % y 30 % de un concentrado comercial; Borrega Plus®, Unión Tepexpan con 15 % de proteína cruda y 2.9 Mcal de energía metabolizable kg de MS⁻¹).

El agua y las sales minerales (Vitasal reproductor®, SEPA) se ofrecieron a libre acceso a los animales. Los corderos se alimentaron de la leche de sus madres y, a partir del día 11 de edad se les ofreció un concentrado iniciador (Iniciador dulce-20®, MNA; con 20 % de proteína cruda) a libre acceso hasta el destete realizado a los 60 días postparto. Posteriormente, se les proporciono de manera paulatina una dieta integral de engorda.

5.3.6. Aplicación de somatotropina bovina recombinante

Con la finalidad de incrementar la producción de leche a las ovejas de T3 y T4 se les administró una dosis de 250 mg de somatotropina bovina recombinante (Boostin-S® Intervet, Shering-Plough Animal Health) vía subcutánea en el día 18 postparto (Figura 8), la segunda a los 36 d postparto para mejorar la esteroideogénesis, desarrollo, maduración folicular y ayudar al reconocimiento materno de la gestación.

5.3.7. Toma de muestras sanguíneas

Para determinar la concentración de progesterona (P_4), se tomaron muestras de sangre a todas las ovejas en los días 24, 29, 47 y 50 postparto (pp; Figura 8) vía punción de la vena yugular y recolectada en tubos vacutainer sin anticoagulante. Posteriormente las muestras se centrifugaron a $693 \times g$ durante 15 min (2500 rpm, centrifuga Solbat® C-600) para recolectar el suero por decantación y conservarlo a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta su análisis. La determinación de progesterona se realizó por radioinmunoanálisis en fase sólida (COAT-A-COUNT® Siemens) con una sensibilidad del análisis de 0.02 ng/mL y un coeficiente de variación intraensayo de 8.8 %. Se consideró que una oveja restableció su actividad ovárica si la concentración de P_4 fue mayor a 0.5 ng/mL^{-1} en dos muestras consecutivas o más de 1 ng/mL^{-1} de P_4 en una sola muestra.

Los primeros muestreos en los días 24 y 29 postparto en las ovejas se realizaron para determinar el porcentaje de ovejas con un cuerpo lúteo (CL) funcional antes de sincronizarlas y si el uso del efecto macho influyó en el porcentaje de ovejas que ovularon antes de los 29 días postparto. A su vez, los muestreos en los días 47 y 50 se realizaron con la finalidad de determinar si la ovulación presentada después del estro, mantuvo la formación de un CL de vida media normal o de vida media corta.

5.3.8. Protocolo de inducción al estro

Las ovejas se les indujo al estro con la aplicación de un dispositivo intravaginal (CIDR® Laboratorios Pfizer) con 0.3 g de P₄, durante cinco días. En el tercer día se aplicó, vía intramuscular un mL de un análogo de PGF_{2α} (265 mcg Cloprostenol, Celosil®, Laboratorios Shering-Plough) a todas las ovejas, con la finalidad de lisar cualquier cuerpo lúteo presente y homogeneizar el estado fisiológico del ciclo estral. Adicionalmente, a las ovejas de los T2 y T4, se les aplicó una dosis de 200 mL de reconstituyente metabólico (Metabolice® Laboratorios Schutze-Segen, cada 100 mL contiene hidrocloreuro de l-carnitina 613.3 mg, ácido tióctico 20 mg, hidrocloreuro de piridoxina 15 mg, cianocobalamina 3 mg, d-1-acetilmetionina 2 000 mg, l-arginina 240 mg, hidrocloreuro de l-ornitina 153.2 mg, l-citrulina 120 mg, hidrocloreuro de l-lisina 62.5 mg, glicina 150 mg, ácido aspártico 150 mg, ácido glutámico 150 mg, fructosa 5 000 mg y sorbitol 8 000 mg) por animal, aplicando 100 mL por vía intravenosa y 100 mL vía subcutánea. Así mismo, a los tratamientos tres y cuatro se les aplicó una dosis de 250 mg de rBST vía subcutánea (Figura 8).

En el día cinco del protocolo, se retiraron los dispositivos de P₄ y se inició la detección de estros, cada 4 h durante 70 h. Se consideró que una oveja no había respondido al tratamiento si no presentó estro durante este lapso de tiempo. La detección de estros se realizó utilizando seis carneros de diferentes razas con edad promedio de 4 años, provistos con mandil. Se consideró que una oveja presento estro cuando permaneció inmóvil y permitió la monta del carnero. Posteriormente, 12 h después de detectado el estro, las hembras se inseminaron artificialmente (IA, Figura 8) en una sola ocasión de forma intrauterina con 0.25 mL de semen refrigerado, diluido a una concentración promedio de 230 x 10⁶ espermatozoides por mL.

El semen utilizado para la IA se colectó de tres carneros, dos de la raza Damara y uno de la raza Dorper con edad promedio de dos años, los cuales fueron representados en todos los tratamientos y a los que previamente se les verificó su calidad seminal, con pruebas macroscópicas y microscópicas de volumen, color, densidad, movilidad en masa y movilidad individual.

5.3.9. Inseminación por laparoscopia

Las ovejas se les suprimió de agua y comida 12 h antes de realizar la IA para reducir el contenido ruminal y localizar más rápidamente los cuernos uterinos y evitar la regurgitación. La IA se llevó a cabo 12 h después de la detección del estro. Antes de realizar la inseminación, el vientre de las ovejas se lavó en un área de 10 a 12 cm² delante de la ubre hacia la parte anterior y, la piel se esterilizó con cloruro de benzalkonio al 1 %. El tren posterior de las hembras se levantó en un ángulo de 40-45° utilizando una camilla especial para IA. Se aplicó 1 mL de anestésico local (Xilocaína al 2 %®, Astra) vía subcutánea, aproximadamente de 3 a 4 cm a cada lado de la línea media y, 4 mL de Emicina LA® (Tetraciclina, 1 mL/10 kg PV., Laboratorios Pfizer) vía intramuscular, como antibiótico. El trocar, la cánula y el telescopio utilizados, fueron inmersos en una solución antiséptica (Cloruro de Benzalkonio al 1 %), posteriormente fue provocado el neumoperitoneo. En seguida, el trocar y el explorador se insertaron en la cavidad peritoneal al lado izquierdo y derecho de la línea media; localizados los cuernos uterinos mediante el endoscopio, se procedió a introducir la pistola previamente preparada con una pajilla de 0.25 mL y depositar el semen. Una vez retirada la pistola y el trocar, se aplicó un cicatrizante (Topazone® Furazolidona, Laboratorios PiSA) en las perforaciones para evitar futuras infecciones.

5.3.10. Medición de Fertilidad

Después de la IA se realizó la detección de estros todos los días (mañana y tarde por 30 min) hasta el día 20 post-inseminación (Figura 8), con la ayuda de carneros provistos de mandil, para observar a las hembras que no quedaron gestantes, al mostrar retorno a estro, e identificar a las gestantes al no retornar al estro.

5.3.11. Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó 40 días después de la IA usando un ecógrafo portátil (USM CTS-900®, Shantou Institute of Ultrasonic Instruments) equipado con un transductor abdominal de 3.5-7 Mhz.

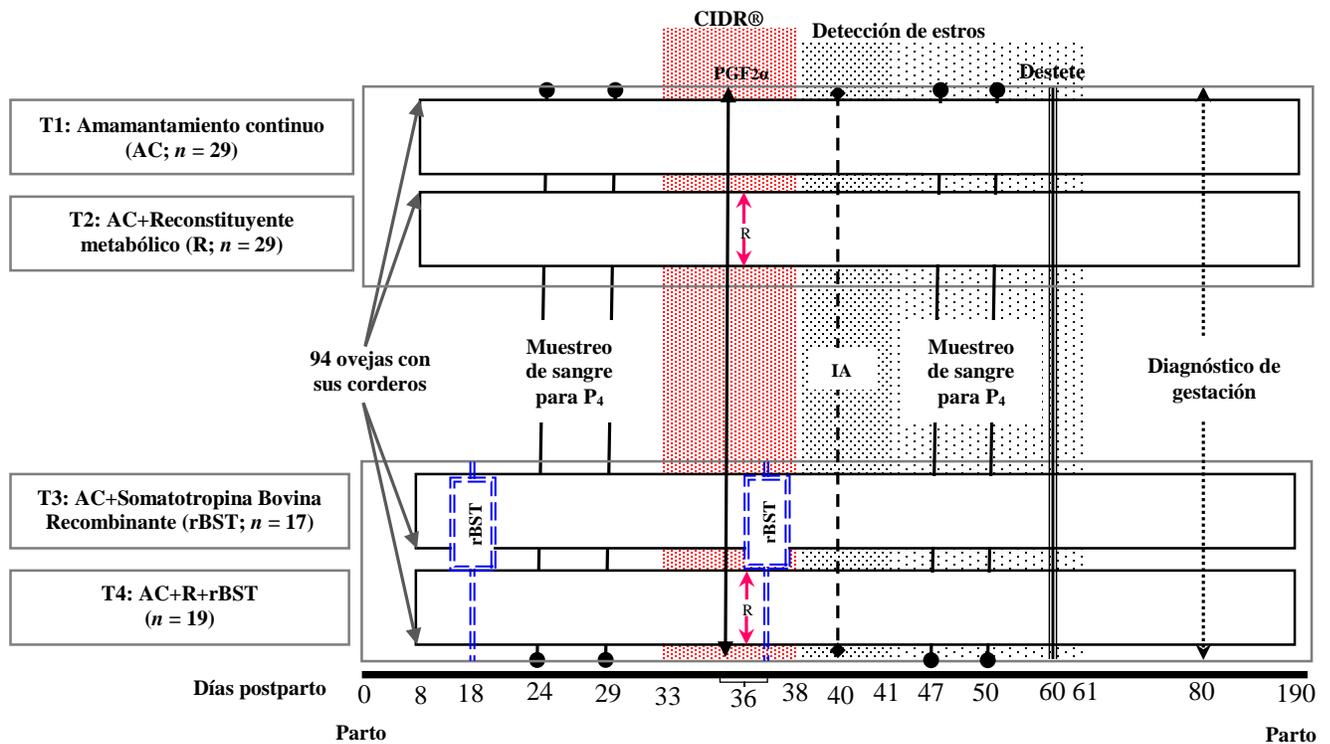


Figura 8. Esquema del protocolo de investigación en el estudio II.

5.3.12. Variables de respuesta

Las variables evaluadas en el estudio fueron: porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 y 50 d pp, los cambios de peso corporal en ovejas y corderos hasta los 63 d pp. Dentro del protocolo de inducción, se evaluaron: incidencia e inicio al estro, retorno a estro, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad.

Ovejas que reiniciaron su actividad ovárica a los 29 días postparto.

Determinado como el número de ovejas que ovularon, detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 24 y 29 d pp.

Ovejas que ovularon a los 50 días postparto. Determinado como el número de ovejas que ovularon después de la inducción con P₄ y detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 47 y 50 d pp.

Cambio de peso corporal en ovejas. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 63 días postparto.

Cambio de peso corporal en corderos. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 63 días de edad.

Del protocolo de inducción.

Incidencia de estros. Se calculó como el número de ovejas a las que se les observó manifestaciones externas de estro dividido entre el total de ovejas en el tratamiento.

Inicio del estro. Tiempo al estro de las ovejas después de retirado el CIDR.

Retorno a estro. Número de ovejas que manifestaron estro durante 20 días después de la inseminación artificial.

Fertilidad. Número de ovejas que no retornaron a estro durante 20 días post-inseminación, determinada con la ayuda de machos provistos de mandil y confirmado con ultrasonografía 40 días después de la IA, del total del tratamiento.

Gestación. Número de ovejas que resultaron positivas al diagnóstico de gestación a los 40 días después de la inseminación artificial, del total de ovejas en el tratamiento.

Parición. Número de ovejas que parieron, después del primer servicio, del total de ovejas en el tratamiento.

Fecundidad. Número de corderos nacidos entre el número de ovejas en el tratamiento.

Prolificidad. Número de corderos nacidos por oveja parida.

5.3.13. Análisis estadístico

El análisis de la variable tiempo al inicio del estro se realizó mediante el método de tiempos de vida usando el estimador de Kaplan-Meier (Ecuación 1) y usando la rutina PROC LIFETEST incluida en SAS/STAT (SAS, 2002); las diferencias entre tratamientos se determinaron con la prueba Long-Rank (Kalbfleish y Prentice, 2002).

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_{(i)} \leq t} \left(\frac{n_i - d_i}{n_i} \right)^{\delta_i}, \quad (1)$$

Donde, $\hat{S}(t)$ es la función de supervivencia estimada al tiempo t , n es el tamaño de muestra, i es el número de supervivientes al tiempo t , δ_i es una variable indicadora que toma el valor de 1 si $t_i > c$ y el valor de 0 de otro modo, donde c es el tiempo que duró el experimento.

El número de ovejas que ovularon a los 29 y 50 días postparto, así como las variables incidencia de estro, retorno a estro, fertilidad, gestación y parición se analizaron con el modelo de regresión logística usando la rutina PROC LOGISTIC incluida en SAS/STAT. Por ejemplo, la probabilidad de una oveja de entrar al estro (p) es modelada usando la Ecuación 2:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (2)$$

Donde, \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo, por ejemplo tratamientos y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables.

Para el análisis de fecundidad y prolificidad, se utilizaron las regresiones Poisson (Ecuación 3) y Binomial Negativa (Lawless, 1987), respectivamente. Los modelos fueron ajustados usando la rutina PROC GENMOD incluida en SAS/STAT. Por ejemplo, para prolificidad, se supone Y_{ij} (el número de corderos que pare la oveja j para el tratamiento i -ésimo) se distribuye como una variable aleatoria Poisson, es decir, $Y_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij})$, donde λ_{ij} es una función lineal de las covariables (en este caso los tratamientos),

$$\log(\lambda) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (3)$$

Donde \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables.

Para probar diferencias entre efecto de tratamientos se utilizó la prueba de razón de verosimilitudes generalizada con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Los cambios de peso corporal en ovejas y corderos se analizaron por mediciones repetidas utilizando el modelo mixto (Littell *et al.*, 1998), con la rutina PROC MIXED de SAS/STAT y se compararon medias con la prueba de Tukey. El modelo se presenta en la Ecuación 4.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}, \quad (4)$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z} , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2)$, es el error, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2)$.

Por ejemplo para el peso de corderos el modelo es el siguiente:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_1\mathbf{u}_1 + \mathbf{Z}_2\mathbf{u}_2 + \mathbf{e},$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_o^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{u}_2 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_c^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2 \mathbf{I})$, es el error.

5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.4.1. Porcentaje de ovulación

El porcentaje de ovulación a los 29 d pp fue mayor ($p \leq 0.05$) para las ovejas que recibieron el reconstituyente metabólico más rBST (T4) con respecto al resto de los tratamientos; mientras que las que recibieron rBST (T3) tuvieron el menor porcentaje de ovulación. A su vez, a los 50 d pp los mayores ($p \leq 0.05$) porcentajes de ovulación fueron para las ovejas con amamantamiento continuo (T1) y con el reconstituyente metabólico (T2; Cuadro 6).

Cuadro 6. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	n	29 días postparto Ovejas que ovularon	% ovulación	50 días postparto Ovejas que ovularon	% ovulación
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	13	44.8 ^a	29	100.0 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)†	29	14	48.3 ^a	29	100.0 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)§	17	02	11.7 ^b	13	76.6 ^b
T4: AC+R+rBST	19	15	78.9 ^c	17	89.5 ^b

§ Aplicación día 18 postparto; †§ Aplicación día 36 postparto.

^{a, b, c.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La aplicación de rBST a los 18 días postparto afectó negativamente el porcentaje de ovulación de las ovejas a los 29 d pp, debido a la pérdida de peso de las hembras (Figura 10), lo que impidió que ovularan, ya que se ha reportado que la pérdida de peso y condición corporal durante la lactancia inhibe el restablecimiento de la actividad ovárica después del parto (Robinson *et al.*, 2002).

Este resultado es similar a los 12.5 % de ovulación obtenido en ovejas antes de los 30 d pp con un protocolo similar y aplicación de rBST (Méndez, 2014). Se sugiere que la remoción de nutrientes efectuada por las hembras favoreció la producción de leche y en menor medida los eventos reproductivos; Bauman (1992) menciona que la aplicación de rBST promueve la utilización de nutrientes y movilización de substratos necesarios para una mayor síntesis de leche, siendo muy estudiado en vacas lecheras y confirmado en este estudio.

El mayor porcentaje de ovulación obtenido por las ovejas que recibieron el reconstituyente metabólico más rBST (T4) a los 29 d pp fue por su mejor condición corporal y menor pérdida de peso (Figura 10). Indicando que hembras con una condición corporal alta y mayores pesos al parto tienden a perder menos peso por la aplicación de rBST, lo que mejora el porcentaje de ovulación a los 29 d pp.

En los tratamientos con rBST a los 50 d pp las ovejas mostraron tener los más bajos porcentajes de ovulación después de la inducción, sugiriendo que la aplicación de rBST y la pérdida de peso (Figura 10), provocan que las hembras presenten la formación de cuerpos lúteos de vida media corta; los cuales son pequeños y secretan menor cantidad de progesterona por lo que regresionan. Así a su vez, la aplicación del reconstituyente metabólico en combinación con rBST mejora el desarrollo folicular y la formación de cuerpos lúteos normales, aumentando el porcentaje de ovejas que ovularon (T4; Cuadro 6).

El amamantamiento es uno de los factores principales que prolonga el periodo de anestro postparto. Sin embargo, en este estudio no fue negativo para la presentación de la ovulación después de un protocolo de inducción, indicando que la inserción de un progestágeno por cinco días es efectivo para inducir la ovulación.

En estudios en ovejas con amamantamiento continuo y un protocolo de sincronización de estros por nueve y cinco días, se ha encontrado 100 % de ovejas ovulando después del protocolo (Castillo-Maldonado *et al.*, 2013; Méndez, 2014), similares a los encontrados en este estudio.

5.4.2. Incidencia e inicio al estro

El promedio general de la respuesta a la incidencia e inicio del estro en ovejas de pelo durante el postparto fue de 88.2 % y 26.4 ± 1.7 h. Las ovejas con rBST (T3) tuvieron menor incidencia de estros ($p \leq 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos para ambas variables (Cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Hembras inseminadas/Total	Incidencia al estro (%)	Inicio al estro (h)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29/29	100.0 ^a	25.9 ± 1.9 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	29/29	100.0 ^a	25.7 ± 0.7 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	09/17	52.9 ^b	26.8 ± 1.9 ^b
T4: AC+R+rBST	19/19	100.0 ^a	27.4 ± 2.2 ^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

El menor porcentaje de incidencia al estro en ovejas con rBST (T3), es asociado a la pérdida de peso por la aplicación de rBST (Figura 10). Las aplicaciones de rBST provocaron pérdida de peso en las hembras, por lo que la hembra priorizo su energía para mantenimiento y la de su cría, que al aspecto reproductivo; ocasionando que la mayoría no presentara estro. Por otra parte, el progestágeno no fue capaz de inducir a las hembras a presentar estro en estas condiciones. Similares resultados fueron encontrados por Méndez (2014), la cual trabajando con ovinos en el postparto, encontró un porcentaje de presentación del estro de 56.25 % con la aplicación de 250 mg de rBST.

En otros estudios en ovejas cíclicas y con aplicación de rBST, encontraron 98.33 % de ovejas que presentaron estro con la aplicación de 250 mg de rBST dos días antes de retirar un CIDR por nueve días (Sosa-Pérez *et al.*, 2014). Así como 100 % en la presentación de estros al aplicar 125 mg de rBST cinco días antes del retiro de una esponja de FGA por 12 días (Aguirre, 2005); resultados atribuidos a la administración de rBST por la producción de IGFs e insulina que estimularon la producción de estradiol y el desarrollo folicular (Martínez *et al.*, 2011), necesarios para la presentación del estro; lo anterior sugiere que en las ovejas de rBST la pérdida de peso influyó para que se manifestaran dichos eventos. Así, la condición corporal y el peso al parto y durante el transcurso del postparto son factores importantes para responder a un protocolo de inducción al estro.

Para el inicio del estro, las ovejas con rBST (T3) presentaron un inicio del estro más largo como se observa en la Figura 9, debido a que la mitad de las hembras no presentaron estro. Sin embargo, aquellas hembras que presentaron estro, el tiempo al inicio fue corto (21 h) en comparación con el resto de los tratamientos así mismo la probabilidad de entrada del grupo fue menor (Cuadro 7; Figura 9). Lo anterior indica que la aplicación de rBST produjo estimulación del desarrollo folicular, produciendo mayor cantidad de estradiol necesario para las manifestaciones externas de estro, por lo que el inicio del estro se presentó más rápido en las hembras de mejor condición corporal. Similar a los 21.91 ± 2.76 h en ovejas en el postparto reportado por Méndez (2014).

Ovejas en las que no se presentó el estro, la pérdida de peso fue un factor determinante para que esto no sucediera, ya que reducciones en la concentración de leptina e insulina provocan una inhibición en la secreción pulsátil de GnRH necesaria para lograr un pico preovulatorio de LH (Guzmán *et al.*, 2012).

De forma contraria, las hembras a las que se les aplicó el reconstituyente metabólico (T2) presentaron el estro más rápido y más homogéneo (Cuadro 7; Figura 9), posiblemente por el mejor desarrollo folicular y estimulación del eje hipotalámico.

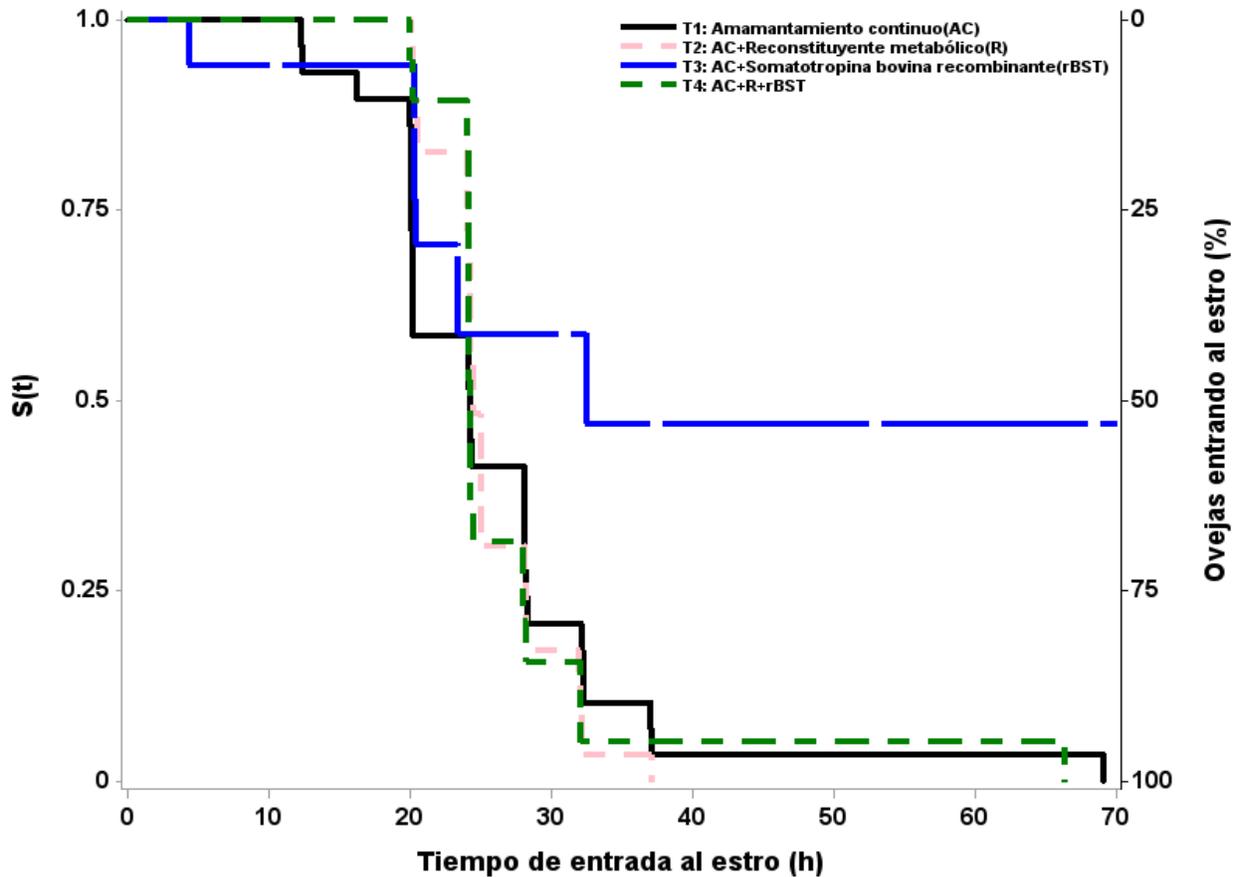


Figura 9. Curvas de supervivencia de los tiempos de inicio al estro de ovejas de pelo en el postparto con un reconstituyente metabólico y somatotropina bovina recombinante (rBST).

5.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad

El promedio para el porcentaje de retorno al estro fue de 32.2 % y 67.8 % para fertilidad. Las ovejas con la aplicación de rBST (T3) tuvieron mayor ($p \leq 0.05$) retorno al estro, así como menor ($p \leq 0.05$) fertilidad en comparación con el resto de los tratamientos (Cuadro 8) a consecuencia de bajos valores en el porcentaje de ovulación a los 29 d pp, manifestaciones de estro y pérdida de peso.

Cuadro 8. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Hembras Inseminadas	Retorno al estro (%)	Fertilidad (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	(8) 27.5 ^a	(21) 72.4 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	29	(4) 13.7 ^a	(25) 86.2 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	09	(6) 66.6 ^b	(03) 33.3 ^b
T4: AC+R+rBST	19	(4) 21.0 ^a	(15) 78.9 ^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Las ovejas con rBST (T3) quizá presentaron cuerpos lúteos de vida media corta, en donde existe una liberación anticipada de PGF2 α por el útero y una baja concentración de progesterona que no es suficiente para mantener una gestación (Zoller *et al.*, 1993), disminuyendo la fertilidad y aumentando los retornos a estros. Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar (2013), mencionan que la aplicación de rBST ayuda al reconocimiento materno de la gestación y la sobrevivencia embrionaria temprana. Sin embargo, para las ovejas del T3 la remoción de nutrientes para la producción de leche y el amamantamiento provocaron un deficiente reconocimiento materno de la gestación, disminuyendo la fertilidad postparto.

Los porcentajes de retorno al estro se incrementan en relación al peso del animal, esto es, a baja condición corporal, alto retorno al estro y alta condición corporal, alto retorno al estro, por lo que un animal debe de estar en una condición corporal media al momento de la cubrición (Albuerne y Perón 1997); lo que no ocurrió con la mayoría de las hembras del T3, pues estaban perdiendo peso desde los 18 d pp afectando estas variables reproductivas.

En un estudio con cabras en anestro utilizando esponjas con FGA por 12 días y la aplicación de 125 mg de bST cinco días antes de la remoción de la esponja y 300 UI de eCG al momento del retiro, encontraron 82 % de fertilidad en comparación con el testigo (Martínez *et al.*, 2011). En otro estudio con hembras Pelibuey ciclando, sincronizadas con esponjas de FGA y con una inyección de 125 mg de bST siete días antes de la presentación del estro, obtuvieron 88.23 % de fertilidad (Rodríguez, 2005), similares a los encontrados en ovejas con la combinación AC + R + rBST y superiores a los encontrados para las ovejas con aplicación de rBST (T3).

La menor respuesta en fertilidad para las ovejas tratadas con rBST (T3), es debido a la remoción de nutrientes, por lo cual, una alternativa podría ser suplementar a las hembras para lograr mejores respuestas reproductivas; ya que la combinación de los tratamientos AC + R+ rBST (T4) mejoró la fertilidad. De esta forma, la fertilidad en ovejas de pelo es afectada por el peso y el nivel nutricional de la hembra durante la lactancia.

5.4.4. Porcentaje de gestación y parición

El promedio para el porcentaje de gestación fue de 59.4 % y 56.6 % para parición. El mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de gestación fue para las ovejas con reconstituyente metabólico (T2) con respecto a las ovejas testigo y con rBST (T1 y T3); y similar a las ovejas con la combinación del reconstituyente metabólico más rBST (T4). El menor porcentaje de gestación y parición se observó para las ovejas con rBST (Cuadro 9).

En ovejas entre 20 y 30 % de los embriones mueren en los primeros 13 días post-fertilización (Nancarrow, 1994), debido a una disfunción del cuerpo lúteo posterior a la primera ovulación postparto (Garverick *et al.*, 1992) lo que disminuye los porcentajes de gestación en este periodo.

Cuadro 9. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Gestación (%)	Parición (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	(16) 55.1 ^{ac}	(16) 55.1 ^{ac}
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	(25) 86.2 ^b	(25) 86.2 ^b
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	(03) 33.3 ^c	(02) 22.2 ^a
T4: AC+R+rBST	(12) 63.2 ^{bc}	(12) 63.2 ^{bc}

a, b, c. Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Sin embargo, los resultados obtenidos en el porcentaje de gestación en este estudio son influenciados por la aplicación del reconstituyente metabólico, el cual favorece la función ovárica para generar óvulos de mejor calidad con la capacidad de mantener una gestación.

Los menores porcentajes de gestación en ovejas con rBST son derivados de la menor fertilidad y la pérdida de peso en las hembras, debido quizá a la presencia de cuerpos luteos que no secretan la suficiente cantidad de progesterona para mantener una gestación. Similares resultados a T3 son reportados por Méndez (2014) en ovejas en el postparto (12.5 %). En caso contrario, en ovejas cíclicas, Sosa-Pérez *et al.* (2014) reportan 91.66 % de gestación. Así, la aplicación del reconstituyente metabólico en las ovejas de T4 mejoró el porcentaje de gestación, pues Bauman y Vernon (1993) mencionan que administrar rBST eleva las necesidades nutricionales de las hembras en producción.

El mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de parición fue para las ovejas AC + R (T2) con respecto a AC (T1) y AC + rBST (T3) y similar a AC + R + rBST (T4). El valor más bajo fue para ovejas de T3 pero similar a T1 (Cuadro 9). El 100 % de hembras que se diagnosticaron gestantes de los tratamientos uno, dos y cuatro parieron. Sin embargo, una hembra del tratamiento tres que se diagnosticó gestante no parió, debido a fallas en el examen por ecografía al momento del diagnóstico de gestación y mortalidad embrionaria temprana.

Es evidente que la aplicación del reconstituyente metabólico mejora la calidad de ovocitos y cuerpos lúteos, que producen mayor cantidad de progesterona necesaria para mantener una gestación y por consiguiente incrementar el porcentaje de parición como se observa en las ovejas con reconstituyente metabólico (T2) y reconstituyente metabólico más rBST (T4).

5.4.5. Fecundidad y prolificidad

El promedio para fecundidad y prolificidad fue de 1.09 ± 0.22 y 1.93 ± 0.26 , corderos oveja⁻¹, respectivamente. El T2 fue diferente ($p \leq 0.05$) para fecundidad, con respecto a T1 y T3, pero similar a T4; T1 y T4 fueron iguales. El valor más bajo se observó para las ovejas con rBST (T3). En la variable prolificidad no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Fecundidad y prolificidad (Medias \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Número de crías	Media \pm EE	
		Fecundidad	Prolificidad
T1: Amamantamiento continuo (AC)	30	1.03 ± 0.22 ^a	1.86 ± 0.21 ^a
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	51	1.76 ± 0.22 ^b	2.04 ± 0.16 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	04	0.23 ± 0.23 ^c	2.00 ± 0.48 ^a
T4: AC+R+rBST	22	1.37 ± 0.22 ^{ab}	1.83 ± 0.19 ^a

^{a, b, c.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La fecundidad está relacionada con la tasa de ovulación, fertilidad y prolificidad, donde factores que afecten a las anteriores, tienen repercusión en esta variable. Las ovejas con AC + R (T2) y AC + R+ rBST (T4) presentaron los valores más altos debido al porcentaje de ovejas que estaba ovulando a los 29 d pp (Cuadro 6) y al número de ovejas gestantes y que parieron (Cuadro 9); incrementándose la fecundidad.

De forma contraria, el valor más bajo es para las ovejas T3 (AC + rBST), debido al menor número de hembras que presentaron estro, quedaron gestantes y a la pérdida de peso, que repercutió en todas las variables reproductivas. Los valores encontrados en este estudio son similares a los encontrados por Méndez (2014) para ovejas en amamantamiento continuo con rBST y superiores a su media general (0.77 ± 0.14 corderos oveja⁻¹), utilizando rBST en combinación con amamantamiento continuo y controlado.

Las ovejas testigo (T1; AC) presentaron resultados similares al resto de los tratamientos, dejando entrevisto que el efecto del amamantamiento no favorece la fecundidad; siendo para muchos la fecundidad una de las variables más importantes, ya que denota la eficiencia de los tratamientos y del protocolo utilizado.

Para la variable prolificidad, el uso del reconstituyente metabólico y rBST no tuvieron ningún efecto. Además, las razas de pelo están consideradas como una de las más prolíficas. Los resultados de este estudio son inferiores a los reportados por Méndez (2014), la cual encontró una media general para prolificidad de 2.0 ± 0.0 corderos oveja⁻¹ utilizando rBST en combinación con amamantamiento continuo y controlado. Así como a los encontrados por Sosa-Pérez *et al.* (2014) en ovejas Pelibuey cíclicas con eCG y rBST ($2.02 \pm .87$ corderos oveja⁻¹) y similares a los 1.65 ± 0.10 corderos oveja⁻¹ reportado por Carrillo (2006) con ovejas Pelibuey ciclando con diferente número de parto y aplicación de 125 mg de bST.

5.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos

No se observó diferencia ($p > 0.05$) para cambio de peso corporal en ovejas entre tratamientos, pero si dentro de periodos e interacción periodo por tratamiento ($p \leq 0.05$; Anexo 3).

En general, las ovejas mantienen o incrementan su peso en los primeros nueve días postparto, posteriormente pierden peso. Las ovejas de los tratamientos T1 y T2 (AC y AC + R) mantienen los pesos más estables a través del tiempo como se observa en la Figura 10, en comparación con las ovejas a las que se les aplicó rBST, donde se observa que después de las aplicaciones (18 y 36 d pp) existe una drástica caída de peso.

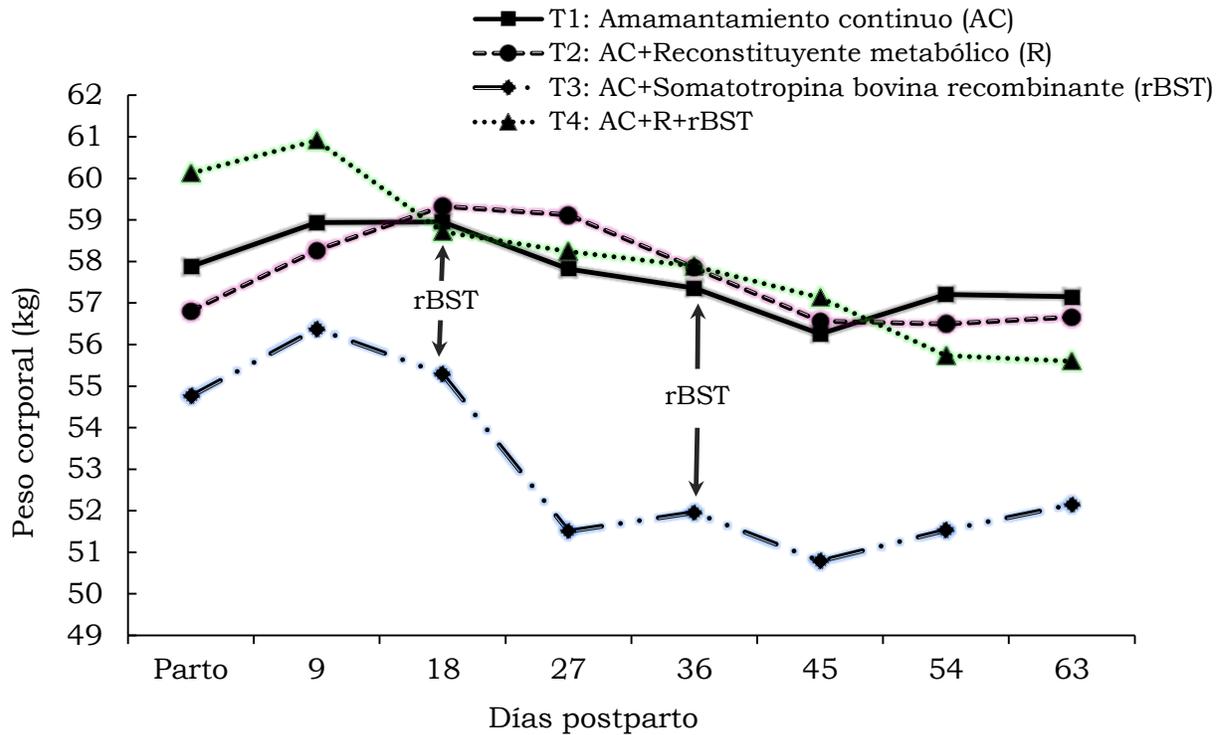


Figura 10. Cambio de peso corporal de ovejas de pelo durante el postparto con un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y Somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

La aplicación de rBST promovió la gluconeogénesis hepática y la disminución en la actividad de la insulina para inhibirla (Prado *et al.*, 2003), usando la glucosa para producción de leche. Además, en el tejido adiposo se incrementó la lipólisis basal en las hembras con balance energético negativo (Bauman, 1992).

Estos efectos son observados de forma clara en las ovejas con rBST (T3) y en menor medida en T4, donde el efecto de rBST es gradual en los primeros días después de su aplicación, alcanzando su efecto máximo una semana después (Bauman y Vernon, 1993; Sallam *et al.* 2005; Figura 10), aunado a que las ovejas de T3 iniciaron el estudio con un peso menor que el resto. Así, el aumento de los requerimientos nutricionales impuestos para la producción de leche, indujo a las hembras a requerir de sus propias reservas, perdiendo peso y condición corporal; este efecto fue más perceptible en ovejas con AC + rBST con pesos menores a 55 kg que en hembras con pesos mayores como el caso de ovejas de AC + R + rBST donde la mejor respuesta de este grupo pudo deberse a la aplicación del reconstituyente metabólico que evitó una remoción de reservas elevada en las semanas posteriores a su aplicación.

Las mayores pérdidas de peso se observan en los periodos comprendidos del 18 al 27 y 36 al 45 para todas las ovejas. Camacho *et al.* (2009) señalan que el pico de lactancia en ovejas se presenta en la tercera semana postparto, coincidiendo con las pérdidas más fuertes de nutrientes por la aplicación de rBST y, en donde existe la máxima producción de leche y ganancias de peso en los corderos (Figura 11). Los resultados de estas variables coinciden con los resultados de Méndez (2014) y Montiel (2014) en ovejas en el postparto.

En el peso de corderos, se encontró diferencia ($p \leq 0.05$) para tratamientos, periodo y la interacción periodo por tratamiento (Anexo 4). Los corderos siempre tendieron a aumentar en peso corporal a medida que transcurrió el tiempo (Figura 11). Corderos provenientes de madres a las que se les aplicó rBST tuvieron los mejores pesos al destete que el resto de los tratamientos, por la mayor producción de leche de sus madres a consta de disminuir su peso corporal. El resto de los tratamientos tuvieron pesos similares a los reportados por Morales-Terán *et al.* (2004) y mayores a los reportados por Pérez-Hernández *et al.* (2009) y Montiel (2014) en corderos de pelo.

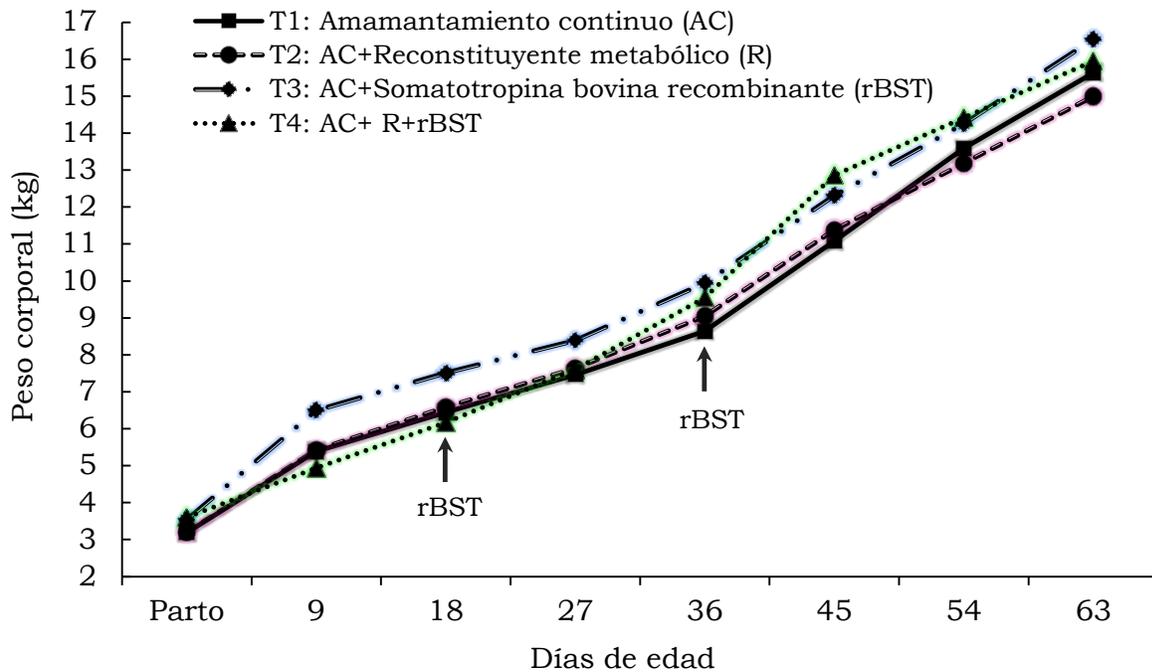


Figura 11. Cambios de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 63 días de edad.

La aplicación de rBST en las hembras mejoró el peso de los corderos al destete, pero repercutió en la disminución de peso corporal de ovejas.

5.5. CONCLUSIONES

La aplicación de somatotropina bovina recombinante influyó negativamente sobre las variables reproductivas y el peso corporal de las ovejas, pero no sobre el peso corporal de corderos. El uso del reconstituyente metabólico puede utilizarse para mejorar el porcentaje de gestación, parición y fecundidad. Además, su combinación con somatotropina bovina recombinante mejora las variables reproductivas dentro de un protocolo de inducción por cinco días.

VI. ESTUDIO III. “Efecto macho” y Somatotropina bovina recombinante (rBST) en ovejas de pelo durante el postparto.

6.1. RESUMEN

Se evaluó la respuesta reproductiva y productiva postparto de ovejas de pelo al uso del efecto macho por 25 días y somatotropina bovina recombinante (rBST) en el día 18 y 36 con un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona. Se utilizaron 97 hembras y sus corderos, asignadas al azar a uno de cuatro tratamientos. T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + Efecto macho (EM; $n = 32$), T3: AC + rBST ($n = 17$) y T4: AC + EM + rBST (T4; $n = 19$). Se observó el porcentaje de ovulación a los 29 y 50 días postparto (d pp), cambios de peso en ovejas y corderos, incidencia e inicio del estro, retorno, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad. El análisis de datos se realizó con el método de tiempos de vida, modelos de regresión Logística, Poisson, Binomial Negativa y Modelo mixto. A los 29 días posparto, el porcentaje de ovulación fue mayor en los tratamientos con exposición al macho (T4 y T2; 94.7 y 75.0 %, respectivamente) con respecto a los sin exposición al macho (T1 y T3; 44.8 y 11.7 %, respectivamente). A los 50 d pp, T1, T2 y T4 fueron similares ($p > 0.05$; 100, 96.8 y 94.7 %), T4 con T3 (76.5 %). El cambio de peso corporal fue diferente ($p \leq 0.05$) para tratamientos en corderos y periodo e interacción tratamiento por periodo en ovejas y corderos. T3 fue menor ($p \leq 0.05$) para incidencia de estro y fecundidad (52.9 % y 0.23 ± 0.23 corderos oveja⁻¹) respecto al resto de tratamientos. El inicio del estro fue igual para T1 y T4 ($p > 0.05$; 25.9 ± 1.9 y 29.4 ± 2.4 h) pero diferente a T2 y T3 (31.1 ± 1.6 y 26.8 ± 1.9 h). No se observó diferencia ($p > 0.05$) para retorno, fertilidad, gestación, parición y prolificidad. La presencia del carnero influyó positivamente sobre el restablecimiento ovárico postparto a los 29 días en ovejas de pelo. La aplicación de rBST afectó negativamente los porcentajes de ovulación, así como la incidencia e inicio al estro, fecundidad y peso corporal de las ovejas; pero mejoró el peso corporal de corderos sin afectar el resto de las variables reproductivas.

Palabras Clave: hormona de crecimiento, feromonas, anestro postparto.

6.2. INTRODUCCIÓN

Durante el anestro postparto se disminuye la respuesta reproductiva, principalmente por el efecto negativo del amamantamiento, el cual inhibe la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y hormona luteinizante (LH), provocando la inhibición de la ovulación y prolongando el intervalo entre partos. Para reducir este periodo, es necesario continuar con la búsqueda de nuevas estrategias que restablezcan la actividad ovárica lo más pronto posible después del parto.

Se ha demostrado que la introducción de carneros a grupos de ovejas en los primeros 8 a 10 días postparto inducen la ovulación en un periodo más corto (Morales-Terán *et al.*, 2011; Castillo-Maldonado *et al.*, 2013). Además, existe interés por tener sistemas de producción limpios en la producción animal. Al respecto, el efecto macho se propone como una alternativa al uso exógeno de hormonas y como una de las piedras angulares del método “limpio, verde y ético” en el ganado (Martin *et al.*, 2004; Gallegos-Sánchez *et al.*, 2013).

Algunos de los compuestos que pueden utilizarse en ovejas para manipular el ciclo estral es la Somatotropina bovina recombinante (rBST), la cual ha mostrado incrementar los índices de fertilidad (Rodríguez, 2005), prolificidad; (Sosa-Pérez *et al.*, 2014) y producción de leche (Sallam *et al.*, 2005). Esta acción esta mediada por factores de crecimiento parecidos a la insulina (IGF-1 e IGF-2), los cuales favorecen la producción láctea, desarrollo folicular, maduración del ovocito, fertilización y desarrollo embrionario temprano (Lucy, 2008; Hernández-Cerón y Gutiérrez-Aguilar, 2013).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta reproductiva y productiva postparto de ovejas de pelo al uso del efecto macho por 25 días y de las aplicaciones de rBST en los días 18 y 36 dentro de un protocolo de inducción del estro por cinco días con progesterona.

6.3. MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1. Ubicación

El estudio se realizó de diciembre 2011 a junio 2012, en el Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa) del Colegio de Postgraduados, localizado en Montecillo, estado de México, México; a una altitud de 2250 m, en las coordenadas geográficas 19° 29´ latitud norte y 98° 53´ longitud oeste, siendo el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988).

6.3.2. Animales

Se utilizaron 97 ovejas adultas de pelo con una edad promedio de 4 a 5 años y sus respectivos corderos, provenientes de partos simples, dobles y triples. El peso promedio de las ovejas fue de 57.1 ± 0.88 kg.

6.3.3. Manejo de ovejas y corderos

Las ovejas estuvieron aisladas de los sementales durante toda la gestación. A los 50 días de gestación, se les aplicó vía subcutánea una dosis del producto comercial MuSe® (Laboratorios Schering-Plough, cada mL contiene selenito de sodio 10.95 mg, equivalente a 5 mg de selenio, vitamina E 68 UI) por animal, a razón de 1 mL 50⁻¹ kg de peso vivo (PV). A los 90 días de gestación a las ovejas, se les aplicó vía subcutánea 2 mL de la vacuna Toxo-Bac Neumonías® (INIFAP) para prevenir y pasar inmunidad a sus fetos contra esta enfermedad. Cada cordero al nacer se le desinfectó el ombligo sumergiéndolo en una solución de yodo metálico al 5 % con alcohol y se aplicó vía subcutánea 2 mL de solución de Metabolice® (Laboratorio Schutze-Segen) y 0.2 mL del producto MuSe®.

Los corderos se destetaron a los 60 días postparto y se instalaron en corrales provistos de comederos y agua a libre acceso.

Para secar a las ovejas, se les privó de agua durante un día, se alimentó con heno por dos días, ordeñaron cada tercer día y posteriormente se fueron espaciando en aquellas ovejas con producción de leche. A partir del parto de las ovejas y corderos se pesaron cada nueve días hasta los 63 días.

6.3.4. Tratamientos

A los ocho días después del parto, las ovejas y sus corderos se distribuyeron a uno de los siguientes tratamientos: T1: Amamantamiento continuo (AC; $n = 29$), T2: AC + Efecto macho (EM; $n = 32$), T3: AC + Somatotropina bovina recombinante (rBST; $n = 17$) y T4: AC + EM + rBST ($n = 19$), donde n indica el número de individuos en el experimento (Figura 12).

6.3.5. Alimentación y alojamiento

Las ovejas y sus respectivos corderos se alojaron en cuatro corrales con piso de arcilla con un espacio de 2.5 m² por hembra. Se alimentaron dos veces al día en el mismo comedero, ofreciéndoles cada vez 2.0 kg oveja⁻¹ de un alimento balanceado (heno de avena 70 % y 30 % de un concentrado comercial; Borrega Plus®, Unión Tepexpan con 15 % de proteína cruda y 2.9 Mcal de energía metabolizable kg de MS⁻¹).

El agua y las sales minerales (Vitasal reproductor®, SEPA) se ofrecieron a libre acceso a los animales. Los corderos se alimentaron de la leche de sus madres y, a partir del día 11 de edad se les ofreció un concentrado iniciador (Iniciador dulce-20®, MNA; con 20 % de proteína cruda) a libre acceso hasta el destete realizado a los 60 días postparto. Posteriormente, se les proporciono de manera paulatina una dieta integral de engorda.

6.3.6. Manejo de carneros

Se utilizaron seis carneros de diferentes razas, con edad promedio de 4 a 5 años, en buena condición corporal y con buena libido. Los carneros se aislaron de las hembras durante toda la gestación y se alimentaron a razón de 2.5 kg carnero⁻¹ de la misma dieta de las ovejas distribuida en dos ocasiones. En las ovejas con los tratamientos con AC + EM y AC+ EM + rBST (T2 y T4) se les introdujo durante dos ocasiones, dos carneros provistos con un mandil por 30 min d⁻¹ (8:00 y 16:00 h) cada uno a partir del día ocho hasta el día 33 postparto (Figura 12). La rotación de carneros se realizó todos los días para evitar que las ovejas se acostumbraran al mismo carnero.

6.3.7. Aplicación de somatotropina bovina recombinante

Con la finalidad de incrementar la producción de leche a las ovejas de T2 y T4 se les administro una dosis de 250 mg de somatotropina bovina recombinante (Boostin-S® Intervet, Shering-Plough Animal Health) vía subcutánea en el día 18 postparto (Figura 12), la segunda a los 36 d postparto para mejorar la esteroideogénesis, desarrollo, maduración folicular y ayudar al reconocimiento materno de la gestación.

6.3.8. Toma de muestras sanguíneas

Para determinar la concentración de progesterona (P₄), se tomaron muestras de sangre a todas las ovejas en los días 24, 29, 47 y 50 postparto (pp; Figura 12) vía punción de la vena yugular y recolectada en tubos vacutainer sin anticoagulante. Posteriormente las muestras se centrifugarón a 693 x *g* durante 15 min (2500 rpm, centrifuga Solbat® C-600) para recolectar el suero por decantación y conservarlo a -20 °C hasta su análisis. La determinación de progesterona se realizó por radioinmunoanálisis en fase sólida (COAT-A-COUNT® Siemens) con una sensibilidad del análisis de 0.02 ng/mL y un coeficiente de variación intraensayo de 8.8 %. Se consideró que una oveja restableció su actividad ovárica si la concentración de P₄ fue mayor a 0.5 ng/mL⁻¹ en dos muestras consecutivas o más de 1 ng/mL⁻¹ de P₄ en una sola muestra.

Los primeros muestreos en los días 24 y 29 postparto en las ovejas se realizaron para determinar el porcentaje de ovejas con un cuerpo lúteo (CL) funcional antes de sincronizarlas y si el uso del efecto macho influyó en el porcentaje de ovejas que ovularon antes de los 29 días postparto. A su vez, los muestreos en los días 47 y 50 se realizaron con la finalidad de determinar si la ovulación presentada después del estro, mantuvo la formación de un CL de vida media normal o de vida media corta.

6.3.9. Protocolo de inducción al estro

Las ovejas se les indujo al estro con la aplicación de un dispositivo intravaginal (CIDR® Laboratorios Pfizer) con 0.3 g de P₄, durante cinco días. En el tercer día se aplicó, vía intramuscular un mL de un análogo de PGF_{2α} (265 mcg Cloprostenol, Celosil®, Laboratorios Shering-Plough) a todas las ovejas, con la finalidad de lisar cualquier cuerpo lúteo presente y homogeneizar el estado fisiológico del ciclo estral. Adicionalmente, a los tratamientos dos y cuatro, se les aplicó una dosis de 250 mg de somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S® Intervet, Shering-Plough Animal Health) vía subcutánea.

En el día cinco del protocolo, se retiraron los dispositivos de P₄ y se inició la detección de estros, cada 4 h durante 70 h. Se consideró que una oveja no había respondido al tratamiento si no presentó estro durante este lapso de tiempo. La detección de estros se realizó utilizando seis carneros de diferentes razas con edad promedio de 4 años, provistos con mandil. Se consideró que una oveja presento estro cuando permaneció inmóvil y permitió la monta del carnero. Posteriormente, 12 h después de detectado el estro, las hembras se inseminaron artificialmente (IA, Figura 12) en una sola ocasión de forma intrauterina con 0.25 mL de semen refrigerado, diluido a una concentración promedio de 230 x 10⁶ espermatozoides por mL.

El semen utilizado para la IA se colectó de tres carneros, dos de la raza Damara y uno de la raza Dorper con edad promedio de dos años, los cuales fueron representados en todos los tratamientos y a los que previamente se les verificó su calidad seminal, con pruebas macroscópicas y microscópicas de volumen, color, densidad, movilidad en masa y movilidad individual.

6.3.10. Inseminación por laparoscopia

Las ovejas se les suprimió de agua y comida 12 h antes de realizar la IA para reducir el contenido ruminal y localizar más rápidamente los cuernos uterinos y evitar la regurgitación. La IA se llevó a cabo 12 h después de la detección del estro. Antes de realizar la inseminación, el vientre de las ovejas se lavó en un área de 10 a 12 cm² delante de la ubre hacia la parte anterior y, la piel se esterilizó con cloruro de benzalkonio al 1 %. El tren posterior de las hembras se levantó en un ángulo de 40-45° utilizando una camilla especial para IA. Se aplicó 1 mL de anestésico local (Xilocaína al 2 %®), Astra) vía subcutánea, aproximadamente de 3 a 4 cm a cada lado de la línea media y, 4 mL de Emicina LA® (Tetraciclina, 1 mL/10 kg PV., Laboratorios Pfizer) vía intramuscular, como antibiótico. El trocar, la cánula y el telescopio utilizados, fueron inmersos en una solución antiséptica (Cloruro de Benzalkonio al 1 %), posteriormente fue provocado el neumoperitoneo. En seguida, el trocar y el explorador se insertaron en la cavidad peritoneal al lado izquierdo y derecho de la línea media; localizados los cuernos uterinos mediante el endoscopio, se procedió a introducir la pistola previamente preparada con una pajilla de 0.25 mL y depositar el semen. Una vez retirada la pistola y el trocar, se aplicó un cicatrizante (Topazone® Furazolidona, Laboratorios PiSA) en las perforaciones para evitar futuras infecciones.

6.3.11. Medición de Fertilidad

Después de la IA se realizó la detección de estros todos los días (mañana y tarde por 30 min) hasta el día 20 post-inseminación (Figura 12), con la ayuda de carneros provistos de mandil, para observar a las hembras que no quedaron gestantes, al mostrar retorno a estro, e identificar a las gestantes al no retornar al estro.

6.3.12. Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó 40 días después de la IA usando un ecógrafo portátil (USM CTS-900®, Shantou Institute of Ultrasonic Instruments) equipado con un transductor abdominal de 3.5-7 Mhz (Figura 12).

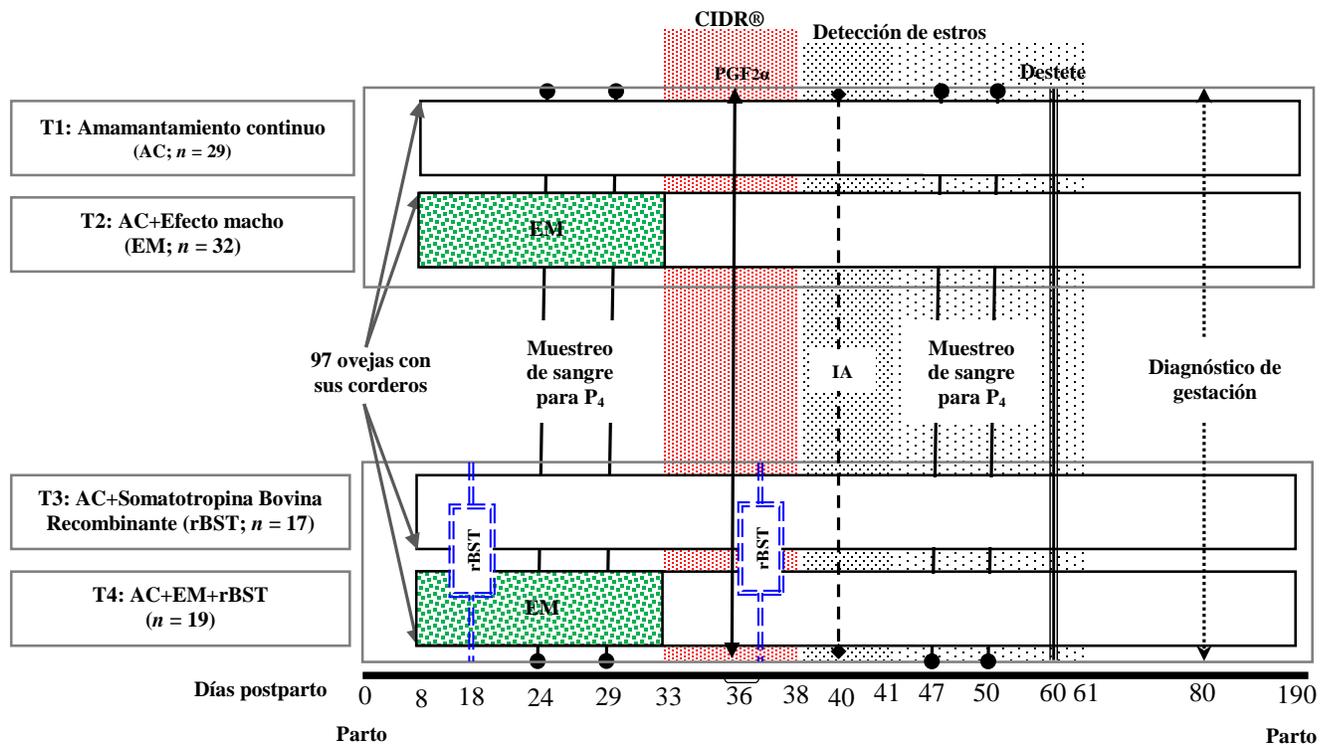


Figura 12. Esquema del protocolo de investigación en el estudio III.

6.3.13. Variables de respuesta

Las variables evaluadas en el estudio fueron: porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 y 50 d pp, los cambios de peso corporal en ovejas y corderos hasta los 63 d pp. Dentro del protocolo de inducción, se evaluaron: incidencia e inicio al estro, retorno a estro, fertilidad, gestación, parición, fecundidad y prolificidad.

Ovejas que reiniciaron su actividad ovárica a los 29 días postparto.

Determinado como el número de ovejas que ovularon, detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 24 y 29 d pp.

Ovejas que ovularon a los 50 días postparto. Determinado como el número de ovejas que ovularon después de la inducción con P₄ y detectadas por la cantidad de P₄ en suero en las muestras 47 y 50 d pp.

Cambio de peso corporal en ovejas. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 63 días postparto.

Cambio de peso corporal en corderos. Determinado con datos de peso obtenidos cada nueve días, desde el parto hasta los 63 días de edad.

Del protocolo de inducción.

Incidencia de estros. Se calculó como el número de ovejas a las que se les observó manifestaciones externas de estro dividido entre el total de ovejas en el tratamiento.

Inicio del estro. Tiempo al estro de las ovejas después de retirado el CIDR.

Retorno a estro. Número de ovejas que manifestaron estro durante 20 días después de la inseminación artificial.

Fertilidad. Número de ovejas que no retornaron a estro durante 20 días post-inseminación, determinada con la ayuda de machos provistos de mandil y confirmado con ultrasonografía 40 días después de la IA, del total del tratamiento.

Gestación. Número de ovejas que resultaron positivas al diagnóstico de gestación a los 40 días después de la inseminación artificial, del total de ovejas en el tratamiento.

Parición. Número de ovejas que parieron, después del primer servicio, del total de ovejas en el tratamiento.

Fecundidad. Número de corderos nacidos entre el número de ovejas en el tratamiento.

Prolificidad. Número de corderos nacidos por oveja parida.

6.3.14. Análisis estadístico

El análisis de la variable tiempo al inicio del estro se realizó mediante el método de tiempos de vida usando el estimador de Kaplan-Meier (Ecuación 1) y usando la rutina PROC LIFETEST incluida en SAS/STAT (SAS, 2002). Las diferencias entre tratamientos se determinaron con la prueba Long-Rank (Kalbfleish y Prentice, 2002).

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_{(i)} \leq t} \left(\frac{n_i - d_i}{n_i} \right)^{\delta_i}, \quad (1)$$

donde, $\hat{S}(t)$ es la función de supervivencia estimada al tiempo t , n es el tamaño de muestra, i es el número de supervivientes al tiempo t , δ_i es una variable indicadora que toma el valor de 1 si $t_i > c$ y el valor de 0 de otro modo, donde c es el tiempo que duró el experimento.

El número de ovejas que ovularon a los 29 y 50 días postparto, así como las variables incidencia de estro, retorno a estro, fertilidad, gestación y parición se analizaron con el modelo de regresión logística usando la rutina PROC LOGISTIC incluida en SAS/STAT. Por ejemplo, la probabilidad de una oveja de entrar al estro (p) es modelada usando la Ecuación 2:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (2)$$

Donde, \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo, por ejemplo tratamientos y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables.

Para el análisis de fecundidad y prolificidad, se utilizaron las regresiones Poisson (Ecuación 3) y Binomial Negativa (Lawless, 1987), respectivamente. Los modelos fueron ajustados usando la rutina PROC GENMOD incluida en SAS/STAT. Por ejemplo, para prolificidad, se supone Y_{ij} (el número de corderos que pare la oveja j para el tratamiento i -ésimo) se distribuye como una variable aleatoria Poisson, es decir, $Y_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij})$, donde λ_{ij} es una función lineal de las covariables (en este caso los tratamientos),

$$\log(\lambda) = \mathbf{x}\boldsymbol{\beta}, \quad (3)$$

Donde \mathbf{x} es un vector de covariables asociadas al individuo y $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de parámetros desconocidos, asociados al efecto de las covariables.

Para probar diferencias entre efecto de tratamientos se utilizó la prueba de razón de verosimilitudes generalizada con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Los cambios de peso corporal en ovejas y corderos se analizaron por mediciones repetidas utilizando el modelo mixto (Littell *et al.*, 1998), con la rutina PROC MIXED de SAS/STAT y se compararon medias con la prueba de Tukey. El modelo se presenta en la Ecuación 4.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}, \quad (4)$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z} , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2)$, es el error, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2)$.

Por ejemplo para el peso de corderos el modelo es el siguiente:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_1\mathbf{u}_1 + \mathbf{Z}_2\mathbf{u}_2 + \mathbf{e},$$

Donde, \mathbf{y} es el vector respuesta, $\boldsymbol{\beta}$ vector de efectos fijos, \mathbf{X} , \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 , matrices de incidencias, \mathbf{u} es el vector de efectos aleatorios se supone $\mathbf{u}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_o^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{u}_2 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_c^2 \mathbf{I})$, $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_e^2 \mathbf{I})$, es el error.

6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.4.1. Porcentaje de ovulación

El mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 días postparto fue para las ovejas expuestas al macho (T2 y T4) con respecto a las que no fueron expuestas al macho; el valor más bajo ($p \leq 0.05$) lo presentaron las ovejas con rBST con respecto al resto de los tratamientos. A los 50 días postparto las ovejas con AC y AC + EM y AC+ EM + rBST (T1, T2 y T4) fueron similares pero diferentes ($p \leq 0.05$) a AC + rBST (T3). Fueron similares T3 y T4 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Porcentaje de ovulación de ovejas de pelo a los 29 y 50 días postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	n	29 días postparto. Ovejas que ovularon	% ovulación	50 días postparto. Ovejas que ovularon	% ovulación
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	13	44.8 ^a	29	100.0 ^a
T2: AC+Efecto macho (EM)	32	24	75.0 ^b	31	96.8 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	17	02	11.7 ^c	13	76.5 ^b
T4: AC+EM+rBST	19	18	94.7 ^b	18	94.7 ^{ab}

^{a, b, c.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Las ovejas expuestas al estímulo del carnero tuvieron una mejor respuesta al porcentaje de ovulación a los 29 d pp, confirmando que el macho es estimulador de la secreción pulsátil de GnRH y LH, induciendo a las hembras en anestro a reiniciar más rápidamente su ciclicidad. Estos resultado son mayores a los encontrados por Morales-Terán *et al.* (2011), los cuales encontraron ~65 % de ovulación a los 50 días y similares (100 %) a los encontrados por Cruz (2011) a los 35 d pp en ovejas con amamantamiento continuo y efecto macho.

Las ovejas del T3 (AC + rBST) obtuvieron el menor porcentaje de ovulación, debido a la pérdida de peso y condición corporal por la aplicación de la hormona rBST (Figura 14), la cual no solo estimula la producción de leche, sino también promueve la gluconeogénesis en el hígado y la lipólisis en los adipocitos (Rivas *et al.*, 2011); por ello, los cambios en concentración de hormonas metabólicas como leptina, IGF-I e insulina pueden alterar el desarrollo del folículo ovulatorio en la primera onda folicular postparto y que esta no se presente, lo que quizá ocurrió en este grupo de ovejas. La mayor respuesta de ovejas con la combinación AC + EM + rBST (T4) fue por su mayor peso al parto y peso al momento de la aplicación de la hormona, lo que ayudo a evitar una mayor pérdida de peso (Figura 14) como en las ovejas de T3. Lo que sugiere que ovejas con pesos y una condición corporal alta durante el postparto responden satisfactoriamente a la aplicación de rBST y al efecto macho.

El tratamiento AC indica que a los 29 d pp es aún fuerte el estímulo del amamantamiento, inhibiendo a más de la mitad de las ovejas en estas condiciones. La presencia del macho indujo al más pronto reinicio de la ciclicidad postparto, aumentando el porcentaje de hembras que ovula en un 30 a 40 %. Por lo que es necesario la adición de estímulos que reactiven el reinicio de la ciclicidad en ovejas mantenidas con su cordero.

A los 50 d pp, las ovejas con AC (T1) y expuestas al macho (T2 y T4) obtuvieron los mayores porcentajes de ovulación. Los resultados son consecuencia del número de ovejas que se encontraba ovulando a los 29 d pp. Además, el estímulo del macho más la incorporación de un progestágeno aumenta la posibilidad de que las hembras produzcan un óvulo de mejor calidad, ya que se prolonga la exposición de los folículos en desarrollo al efecto de gonadotropinas; de esta forma, se evita en gran medida que se produzcan cuerpos luteos de vida media corta que regresionan.

En este sentido, resultados similares son reportados por Castillo (2012) y Montiel (2014) las cuales trabajando con amamantamiento continuo y efecto macho encontraron 91.7 y 95 % de ovulación después de retirado un CIDR.

El valor más bajo para esta variable lo presentaron las ovejas con rBST (T3), causado por la pérdida de peso, que impidió que las hembras dieran mayor prioridad a los eventos reproductivos. La inserción del CIDR logró que se incrementara ~ 65 % más el porcentaje de hembras que ovularon y presentaron un cuerpo lúteo normal en comparación con las hembras que ovularon a los 29 días postparto a pesar de sus bajos pesos. En general la aplicación del CIDR por cinco días logró mejorar la respuesta en porcentaje de ovulación a los 50 días postparto.

6.4.2. Incidencia e inicio al estro

El promedio para incidencia e inicio del estro fue de 88.2 % y 28.3 ± 1.9 h. Las mayores incidencias al estro se encontraron para AC, AC + EM y AC + EM + rBST pero diferentes ($p \leq 0.05$) a ovejas con AC + rBST. El menor inicio al estro fue para AC en comparación con AC + EM y AC + rBST (T2 y T4); AC + EM y AC + EM + rBST fueron similares pero diferentes ($p \leq 0.05$) a AC + rBST (T3; Cuadro 12).

Cuadro 12. Porcentaje de incidencia y horas al inicio del estro (Media \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Hembras inseminadas/Total	Incidencia al estro (%)	Inicio al estro (h)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29/29	100.0 ^a	25.9 ± 1.9 ^a
T2: AC+Efecto macho (EM)	32/32	100.0 ^a	31.1 ± 1.6 ^b
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	09/17	52.9 ^b	26.8 ± 1.9 ^c
T4: AC+EM+rBST	19/19	100.0 ^a	29.4 ± 2.4 ^{ab}

^{a, b, c.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

La respuesta en incidencia al estro es debida principalmente al número de ovejas que se encontraba ovulando por el estímulo del macho y a la inserción de progesterona por medio del CIDR que coadyuvo a mejorar la respuesta. Puesto que las concentraciones séricas de progesterona secretada por el dispositivo, desencadenan un efecto positivo en el crecimiento folicular, incrementando la cantidad de folículos grandes con mayor secreción de estradiol y con potencial para ovular. Es importante destacar que hembras con pesos corporales altos, la aplicación de rBST no muestra efectos negativos en combinación con efecto macho para esta variable.

La aplicación de rBST (18 y 36 d pp) en las ovejas de T3 incitó a que las hembras removieran mayor cantidad de nutrientes para la producción de leche y presentar un balance energético negativo, inhibitorio de la secreción pulsátil de GnRH/LH, FSH y hormonas metabólicas (insulina, leptina e IGFs) que indujeron a un menor desarrollo folicular y la ausencia de expresión de estros. En la Figura 13 se observa como aproximadamente la mitad de las hembras de este tratamiento no manifestaron estro, por lo que los tiempos al inicio del estro se alargaron. Sin embargo, la probabilidad de que el grupo entrara al estro fue más corto que las ovejas expuestas al macho (Cuadro 12). Resultados similares son reportados por Méndez (2014) en ovejas en el postparto con un protocolo de sincronización por cinco días (56.25 %). A su vez, Álvarez (2010) reportó 100 % de estros al utilizar un protocolo de sincronización en ovejas cíclicas con la aplicación de 125 mg de rBST dos días antes del retiro de una esponja de FGA por 12 días. De esta manera, durante el anestro postparto el balance energético de las hembras es uno de los factores más importantes para el reinicio de la actividad ovárica.

El inicio al estro se presentó más rápido en ovejas con AC (T1) pero fue similar a ovejas con AC + EM + rBST (T4), lo que sugiere que el efecto macho y rBST no intervienen de manera significativa en esta variable a menos que se combinen.

En las ovejas con rBST (T3), la mitad de las ovejas no mostraron signos de estro por lo que el tiempo al inicio del estro se prolongó más allá de las 70 h (Figura 13). La demora en el inicio del estro se debió a factores negativos por la pérdida de peso de este grupo, como desarrollo de folículos pequeños que no secretan gran cantidad de estradiol. Estos resultados son similares a los encontrados por Méndez (2014), quien logra una entrada al estro de las ovejas a las 21.91 ± 2.76 h con aplicación de rBST.

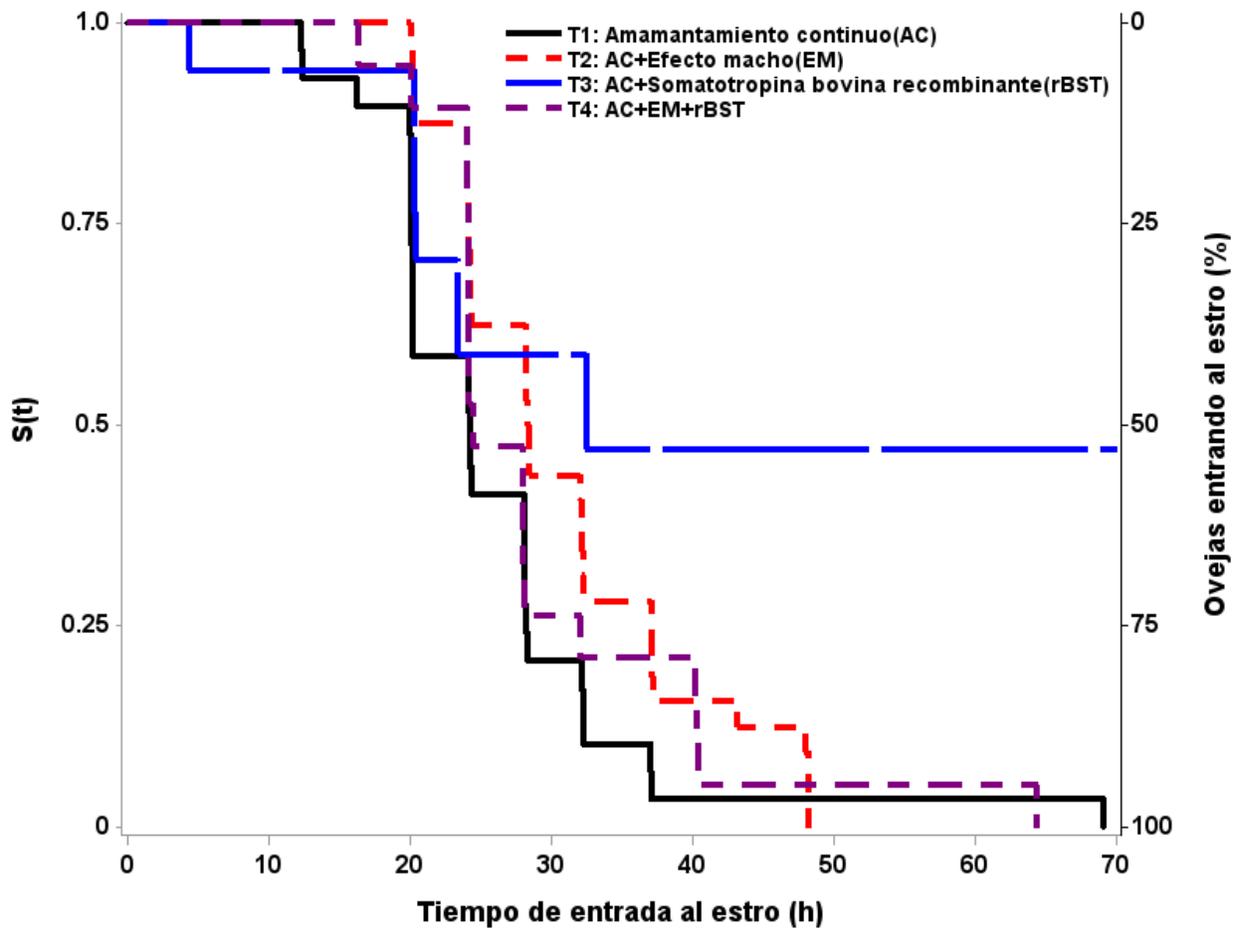


Figura 13. Curvas de supervivencia de los tiempos de inicio al estro de ovejas de pelo en el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

6.4.3. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad

El promedio a retorno a estro y fertilidad fue de 39.0 % y 61.0 %, respectivamente. Sin diferencia ($p > 0.05$) entre tratamientos para ninguna de las variables (Cuadro 13). La presencia de retornos al estro está influenciada por varios factores como: fallas en la ovulación, óvulos persistentes, fallas en la fertilización, mortalidad embrionaria temprana, cuerpos lúteos de vida media corta, entre otros que hacen que el porcentaje de retornos se incremente y la fertilidad disminuya.

Cuadro 13. Porcentaje de retorno al estro y fertilidad en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Hembras Inseminadas	Retorno al estro (%)	Fertilidad (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	(8) 27.5 ^a	(21) 72.4 ^a
T2: AC+Efecto macho (EM)	32	(8) 25.0 ^a	(24) 75.0 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	09	(6) 66.6 ^a	(03) 33.3 ^a
T4: AC+EM+rBST	19	(7) 36.8 ^a	(12) 63.1 ^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

No se encontró diferencia estadística para estas variables; sin embargo, se observa que las ovejas con efecto macho presentan un menor retorno al estro y, por lo tanto la fertilidad aumenta en comparación con las ovejas de rBST donde el porcentaje de ovejas que retorna es mayor pero el error se incrementa. En un estudio con ovejas con un protocolo similar, Méndez (2014) encontró un porcentaje de retorno al estro de 77.77 % en ovejas con rBST. En cuanto al efecto macho, Hernández-Marín *et al.* (2014) observaron porcentajes de retorno al estro semejantes a los de este estudio (22 %).

6.4.4. Porcentaje de gestación y parición

El promedio para gestación fue de 49.5 % mientras que para parición se obtuvo 46.7 %. Sin diferencia ($p > 0.05$) en tratamientos y variables (Cuadro 14).

Cuadro 14. Porcentaje de gestación y parición en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST Boostin-S®).

Tratamiento	Gestación (%)	Parición (%)
T1: Amamantamiento continuo (AC)	(16) 55.1 ^a	(16) 55.1 ^a
T2: AC+Efecto macho (EM)	(20) 62.5 ^a	(20) 62.5 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	(03) 33.3 ^a	(02) 22.2 ^a
T4: AC+EM+rBST	(09) 47.3 ^a	(09) 47.3 ^a

^{a, b.} Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Los porcentajes de gestación fueron bajos para todos los tratamientos y, por consiguiente, la parición disminuye. El efecto macho induce a la reactivación ovárica postparto; sin embargo, es común que en la primera ovulación se presenten cuerpos lúteos de vida media corta que secretan poca cantidad de progesterona y son incapaces de mantener una gestación por lo que regresionan. En lo que respecta a ovejas con la aplicación de rBST, está es asociada al desarrollo folicular y reconocimiento temprano de la gestación (Rivas *et al.*, 2011), mismo que quizá no ocurrió por la lipólisis que incito su aplicación, disminuyendo la viabilidad embrionaria y el porcentaje de gestación. Desde el punto de vista biológico, la hembra lactante invierte preferentemente sus limitados recursos en la supervivencia de la cría que sobre la viabilidad de ovocitos que pueden ser fertilizados y puedan implantarse e iniciar una nueva gestación. Pese a lo anterior, el uso del efecto macho y la aplicación de rBST no mostraron tener ningún efecto en estas variables.

6.4.5. Fecundidad y prolificidad

El promedio de fecundidad y prolificidad fue de 0.89 ± 0.23 y 1.99 ± 0.28 corderos oveja⁻¹, respectivamente. Las ovejas con AC, AC + EM y AC +EM + rBST fueron similares, pero diferentes ($p \leq 0.05$) a AC + rBST. No se observó diferencia ($p > 0.05$) para prolificidad (Cuadro 15).

Cuadro 15. Fecundidad y prolificidad (Medias \pm error estándar) en ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	Número de crías	Media \pm EE	
		Fecundidad	Prolificidad
T1: Amamantamiento continuo (AC)	30	1.03 \pm 0.22 ^a	1.86 \pm 0.21 ^a
T2: AC+Efecto macho (EM)	45	1.41 \pm 0.21 ^a	2.25 \pm 0.18 ^a
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	04	0.23 \pm 0.23 ^b	2.00 \pm 0.48 ^a
T4: AC+EM+rBST	17	0.89 \pm 0.26 ^a	1.88 \pm 0.28 ^a

^{a, b}. Letra diferente dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Las ovejas provenientes de rBST (T3) presentaron la menor fecundidad, ya que la condición corporal y el peso guarda una estrecha relación con la tasa ovulatoria y, por ende, con la cantidad de corderos nacidos (Hindson, 1994). De tal manera que aquellas ovejas que se encuentran en una mejor condición de peso, tendrán una tasa de partos múltiples mayor (Newton *et al.*, 1980) y, por lo tanto, se incrementa la fecundidad y prolificidad. Lo anterior podría explicar la menor fecundidad y prolificidad del grupo con rBST puesto que su peso es menor al resto de los tratamientos. En un estudio, Méndez (2014) encontró una fecundidad y prolificidad para AC + rBST de 0.25 ± 0.17 y 2.00 ± 0.00 corderos oveja⁻¹, respectivamente; los cuales son muy semejantes a los de este estudio, no así para AC (1.44 ± 0.29 y 2.17 ± 0.24 corderos oveja⁻¹). Otro estudio en ovejas cíclicas con rBST, se encontró 1.95 ± 0.11 y 2.13 ± 0.91 corderos oveja⁻¹ (Sosa, 2012), superiores a los de este estudio. Respecto a los tratamientos con AC y AC + EM, las respuestas son similares a las encontradas por Castillo Maldonado *et al.* (2013) en ovejas en el postparto (1.5 y 1.7 corderos oveja⁻¹).

La fecundidad es una variable que pone en evidencia la efectividad del tratamiento en el rebaño más que la prolificidad; en base a ello, se observa que la aplicación de rBST en general tuvo efectos negativos; sin embargo, la combinación con el efecto macho mejora las respuestas.

6.4.6. Cambio de peso corporal en ovejas y corderos

Los cambios de peso corporal en las ovejas no fue diferente ($p > 0.05$) entre los tratamientos, pero si ($p \leq 0.05$) entre periodos e interacción tratamiento por periodo (Figura 14; Anexo 5).

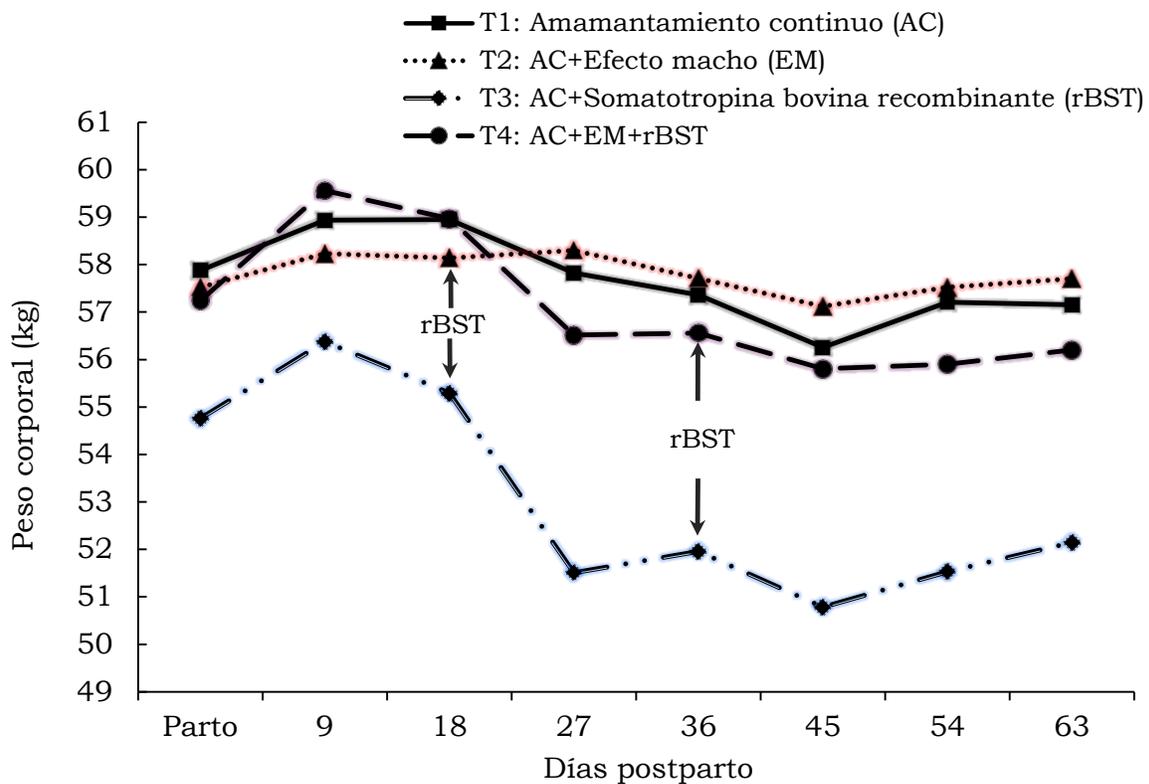


Figura 14. Cambio de peso corporal de ovejas de pelo durante el postparto con efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

En los periodos que abarca del 18 al 27 y 36 al 45 postparto, es observada la mayor pérdida de peso de las ovejas a las que se les aplicó rBST, esto coincide con lo mencionado por Bauman y Vernon (1993) y Sallam *et al.* (2005); los cuales señalan que el efecto de rBST es gradual en los primeros días después de su aplicación, alcanzando su efecto máximo una semana después (Figura 14).

La aplicación de rBST en hembras en balance energético negativo promovió la gluconeogénesis en el hígado y actuó como un iniciador de la lipólisis masiva para producción de leche (Rivas *et al.*, 2011), lo que trajo como consecuencia que hormonas metabólicas como insulina e IGFs se vieran alteradas y provocaran un bajo desempeño reproductivo, como se encontró en las ovejas del grupo de rBST (T3). La misma respuesta en pérdida de peso en ovejas en el postparto fue observada por Méndez (2014) haciendo control del amamantamiento en ovejas y con la aplicación de rBST, donde menciona que disminuye más el peso de ovejas con amamantamiento continuo que en las que se les maneja el amamantamiento, debido a que los corderos tienen más acceso a la leche y es mayor el estímulo para su producción. Lo anterior sugiere que es necesario aumentar el aporte de nutrientes en la dieta ofrecida a las ovejas para evitar la remoción de reservas y la pérdida de peso, y con ello garantizar mayores respuestas reproductivas.

El cambio de peso corporal en corderos fue afectado ($p \leq 0.05$) por el tratamiento, periodo y tratamiento por periodo (Anexo 6), donde los corderos de madres a las que se les aplicó rBST (T3 y T4) fueron los más pesados en comparación con AC y AC + EM.

Los corderos siempre tendieron a aumentar de peso a medida que transcurrió el tiempo (Figura 15), siendo los de mayor peso los provenientes de ovejas a las que se les aplicó rBST. Se observa que los mayores incrementos en peso suceden en los mismos periodos en que las ovejas pierden mayor peso (18-27 y 36-45; Figura 14), lo cual explica la mayor producción de leche y mayores ganancias de peso para el cordero. Estos resultados difieren por los encontrados por Méndez (2014), la cual reporta que la aplicación de rBST en ovejas en el postparto no tiene influencia en la ganancia de peso de los corderos.

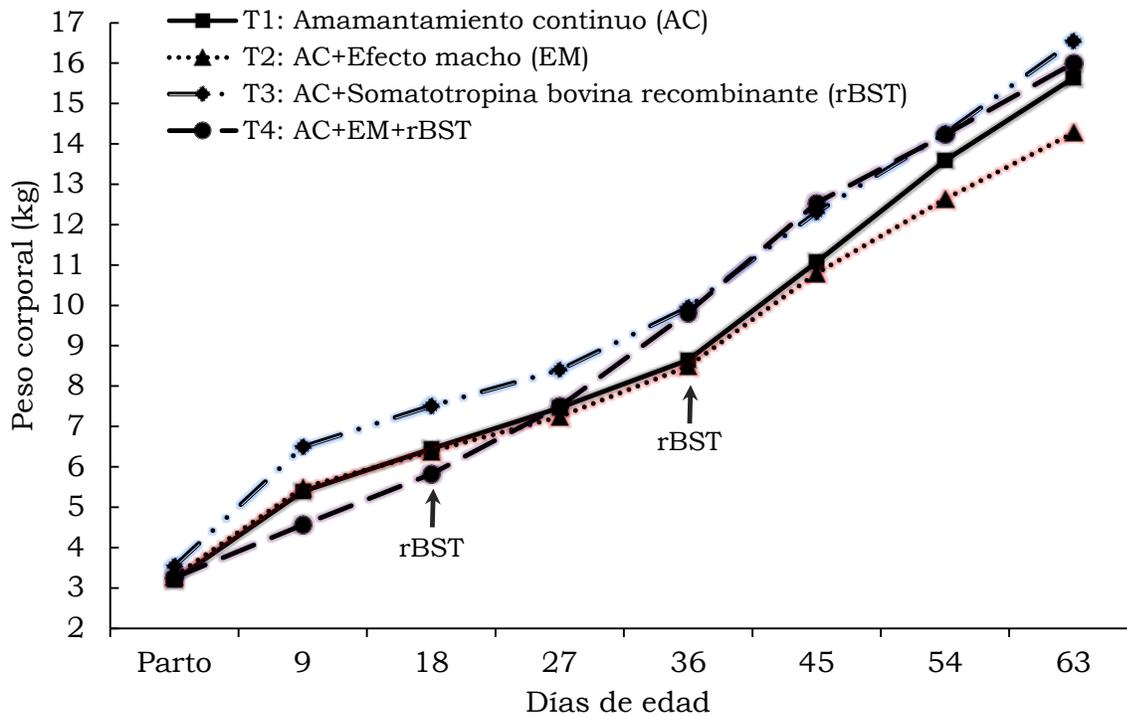


Figura 15. Cambio de peso corporal de corderos de pelo durante los primeros 63 días de edad.

La aplicación de rBST induce la pérdida de peso en ovejas con un metabolismo energético negativo, pero favorece la producción de leche y con ello mejores pesos al destete de sus corderos. Además, el cambio de peso corporal en ovejas y corderos no es afectado por la estimulación del carnero y, corderos provenientes de AC tendieron a tener pesos al destete similares a aquellos de rBST.

6.5. CONCLUSIONES

El efecto macho influyó positivamente para el restablecimiento ovárico cíclico de las hembras antes de los 29 días postparto. En cambio, la aplicación de somatotropina bovina recombinante afectó negativamente los porcentajes de ovulación, así como la incidencia e inicio al estro, fecundidad y el peso corporal de ovejas, pero no sobre el peso corporal de corderos, sin afectar el resto de las variables reproductivas.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

En el estudio uno, las ovejas expuestas al macho (T3 y T4) tuvieron los mayores ($p \leq 0.05$) porcentajes de ovulación a los 29 d pp. Estos resultados indican, que la reintroducción del macho con las ovejas logra un estímulo positivo para reiniciar la actividad ovárica en un tiempo menor. Similares resultados 65 y 92.4 % son reportados por Morales-Terán *et al.* (2011) y Cruz (2011) indicando que el efecto estimulador del macho es logrado por un incremento en la frecuencia de pulsos de GnRH/LH en la hembra, haciendo posible que disminuya el efecto negativo del estradiol ejercido por el estímulo del amamantamiento. Casi la mitad de las hembras del tratamiento de amamantamiento continuo (AC) respondieron a la ovulación a los 29 d pp, respuesta que puede deberse a la variabilidad entre animales, así como a una inhibición más fuerte del amamantamiento en algunos animales.

En los 50 d pp no se encontró diferencias para el porcentaje de ovulación para ninguno de los tratamientos, sugiriendo que el tiempo y la progesterona impregnada en el CIDR fueron suficientes para inducir a las ovejas a formar un cuerpo lúteo de vida media normal. Estudios como los de Castillo (2012) y Montiel (2014) reportan 97.7 % y 95 % de ovulación después de un protocolo de sincronización de estros. Sin embargo en el tratamiento con AC fue superior a los reportados en la mayoría de los trabajos con amamantamiento donde mencionan aproximadamente 48 % de ovulación (Castillo, 2012; Castillo-Maldonado *et al.*, 2013).

La incidencia al estro en las ovejas fue similar entre todos los tratamientos ($p > 0.05$), indicando que el efecto macho y el reconstituyente metabólico no tienen efecto para esta variable. La efectividad del progestágeno durante cinco días mostraron ser suficientes para la expresión del estro, e incrementar la sensibilidad de los estrógenos (Fabre-Nys y Martin, 1991) para iniciar un pico preovulatorio de LH y que el estro se presentara en un lapso aproximado de 48 h (Evans *et al.*, 2002).

Al respecto de tratamientos cortos con progestágenos, Viñoles *et al.* (2001) mencionan que estos tratamientos mejoran la inducción al estro y la fertilidad con respecto a los tratamientos largos (9 días 75 %; 6 días 87 %).

El tiempo al inicio al estro fue diferente ($p \leq 0.05$) en las ovejas con la aplicación del reconstituyente metabólico (T2) con respecto al tratamiento con efecto macho (T3) y su combinación (T4) y similar al testigo (T1). Las ovejas expuestas al macho (T3) obtuvieron el mayor tiempo al inicio del estro. Se sugiere que la respuesta observada a la aplicación del reconstituyente durante el protocolo, fue a que mejoró el estado metabólico de las ovejas por su aporte en nutrientes, así como a los aminoácidos como arginina, aspartato y glutamato relacionados con el incremento en la frecuencia pulsátil de GnRH/LH y FSH (Ruiz y Kittok, 2008), las cuales tienen efectos positivos sobre el desarrollo folicular y producción de estrógenos, provocando un inicio del estro más rápido y mejor sincronizado.

Las ovejas provenientes de los tratamientos con efecto macho (T3 y T4), el inicio del estro se alargó por más tiempo, quizá por un desarrollo folicular más lento. Sin embargo, es evidente que la aplicación del reconstituyente metabólico mejora la respuesta en las ovejas en combinación con el efecto macho (T4). En otros estudios en ovejas en el postparto, encontraron que el estro comienza a las 60 y 72 h después de retirado el CIDR para los tratamientos AC y AC + EM, respectivamente (Castillo-Maldonado *et al.*, 2013) y utilizando el efecto macho 15 días antes de la inserción de un CIDR en ovejas en el postparto Hernández-Marín *et al.* (2014) observaron un inicio del estro de 34.21 ± 0.77 y 51.68 ± 0.58 h para AC y AC + EM, ambos resultados mayores a los encontrados en este estudio. Por lo anterior se sugiere que al realizar el manejo del carnero se acorta el inicio del estro comparado con otros protocolos en ovejas en el postparto, pero que la aplicación del reconstituyente metabólico ayudó a acelerar y agrupar el inicio del estro.

Para el porcentaje de retorno al estro y fertilidad no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos. La presencia de retornos en un rebaño puede deberse a fallas en la ovulación, fecundación o a una mortalidad embrionaria temprana (Bari *et al.*, 2003), sin descartar fallas en la inseminación artificial, lo que pudo haber sucedido en este estudio. Así mismo, con relación al retorno al estro, la fertilidad también es respuesta al tratamiento hormonal, la presentación de estros y ovulaciones después de retirar el progestágeno (López-Sebastián, 1991). Posiblemente alguno de los factores antes mencionados pudo coadyuvar para que no se observaran diferencias en los tratamientos.

Las ovejas con la aplicación del reconstituyente metabólico (T2) mostraron los mayores ($p \leq 0.05$) porcentajes de gestación y parición respecto al resto de los tratamientos. Esta respuesta es debida a la aplicación de nutrientes, la cual puede favorecer la producción de óvulos de mejor calidad, su fecundación y su implantación, mejorando la fertilidad y prolificidad, resultado de un incremento en la sobrevivencia embrionaria (Heredia *et al.*, 1985). Los tratamientos con exposición al macho pudieron mostrar presencia de ciclos cortos, los cuales generalmente se presentan después de la primera ovulación postparto (Martin *et al.*, 1986; Flores *et al.*, 2000). Estos cuerpos lúteos son de baja calidad y no son capaces de mantener la gestación y se reabsorben, por lo que los porcentajes de gestación disminuyen. Cruz (2011) reportó resultados menores (54 %) a los de este estudio al usar efecto macho. Los valores más bajos se obtuvieron en ovejas con amamantamiento continuo (T1), lo que confirma que el amamantamiento sigue siendo uno de los factores que más influye en la inhibición de la actividad ovárica.

No se encontraron diferencias ($p > 0.05$) para fecundidad y prolificidad. Los valores obtenidos son similares a los 1.5 y 1.7 corderos oveja⁻¹ reportados por Castillo Maldonado *et al.* (2013), en ovejas de pelo en amamantamiento continuo usando progestágenos y efecto macho con condiciones similares.

Los cambios de peso corporal en las ovejas no fue diferente ($p > 0.05$) entre los tratamientos, pero si entre periodos ($p \leq 0.05$). En los primeros dos periodos después del parto (0-18 d) se observó un aumento de peso para todas las ovejas, derivado de la buena condición corporal en que se encontraban las hembras al momento del parto, aunado a la alimentación que cubría sus requerimientos nutricionales, lo que permitió que las ovejas no removieran nutrientes y perdieran peso. Similares resultados reporta Castillo-Maldonado *et al.* (2013) en ovejas a las que se les cubrió sus requerimientos nutricionales, estas no presentaron diferencias entre los pesos corporales en grupos de amamantamiento continuo y controlado.

Se observó una pérdida de peso en las ovejas entre los días 27 al 45, debido a que en éste periodo los corderos necesitan más nutrientes para su crecimiento; por lo que las hembras tuvieron que remover mayor cantidad de nutrientes para la producción de leche, reflejándose en las ganancias de peso de los corderos. Relling y Mattioli (2002) sugieren que entre las semanas tres y ocho, los corderos necesitan mayor aporte de nutrientes, debido a que la leche no cubre sus necesidades por lo que es necesario proporcionarlo con alimento sólido. Posterior a los 45 días las hembras tienden a aumentar de peso hasta el destete de los corderos (60 días), donde vuelven a perder peso debido al estrés ejercido por la separación de las crías.

El cambio de peso corporal en corderos fue afectado por el periodo ($p \leq 0.05$), observándose un aumento conforme transcurrieron los días. El peso al destete promedio fue de 15 kg, es aceptable si se compara con lo reportado por otros autores para corderos de pelo (11 a 17 kg, Pérez-Hernández *et al.*, 2009; Arroyo *et al.*, 2011; Morales-Terán *et al.*, 2011; Hinojosa-Cuéllar *et al.*, 2012). Las diferencias en la alimentación preparto y postparto de las madres, así como la cantidad y calidad del complemento alimenticio al que tuvieron acceso los corderos, explican parcialmente el peso al destete.

Después del destete descendió el peso, debido a la separación de sus madres, pero posteriormente tienden a aumentar de peso. Los resultados indican que en las hembras el destete les permite reponer sus reservas corporales, mientras que en el cordero el destete causa pérdida de peso durante un periodo muy corto, tendiendo siempre a ganar peso.

En el estudio dos, el porcentaje de ovulación a los 29 d pp fue mayor ($p \leq 0.05$) para las ovejas que recibieron el reconstituyente metabólico más rBST (T4) con respecto al resto de los tratamientos; mientras que las que recibieron rBST (T3) tuvieron el menor porcentaje de ovulación. La aplicación de rBST a los 18 días postparto afectó negativamente el porcentaje de ovulación en las ovejas de T3, debido a la pérdida de peso, lo que impidió que ovularan, ya que se ha reportado que la pérdida de peso y condición corporal durante la lactancia inhibe el restablecimiento de la actividad ovárica después del parto (Robinson *et al.*, 2002). Este resultado es similar a los 12.5 % de ovulación obtenido en ovejas antes de los 30 d pp con un protocolo similar y aplicación de rBST en el día 18 postparto (Méndez, 2014). Se sugiere que la remoción de nutrientes efectuada por las hembras favoreció la producción de leche y en menor medida los eventos reproductivos.

El mayor porcentaje de ovulación obtenido por las ovejas que recibieron el reconstituyente más rBST (T4) a los 29 d pp fue por su mejor condición corporal y menor pérdida de peso. Indicando que hembras con una condición corporal alta y mayores pesos al parto tienden a perder menos peso por la aplicación de rBST, lo que mejora el porcentaje de ovulación a los 29 d pp.

Los mayores ($p \leq 0.05$) porcentajes de ovulación a los 50 d pp fueron para las ovejas con amamantamiento continuo (T1) y con la aplicación del reconstituyente metabólico (T2).

El amamantamiento es uno de los factores principales que prolonga el periodo de anestro postparto. Sin embargo, en este estudio no fue negativo para la presentación de la ovulación después de un protocolo de inducción, indicando que la inserción de un progestágeno por cinco días es efectivo para inducir la ovulación.

En los tratamientos con rBST las ovejas mostraron tener los más bajos porcentajes de ovulación después de la inducción, sugiriendo que la aplicación de rBST y la pérdida de peso, provocan que las hembras presenten la formación de cuerpos lúteos de vida media corta; los cuales son pequeños y secretan menor cantidad de progesterona por lo que regresionan. Así a su vez, la aplicación del reconstituyente metabólico en combinación con rBST mejora el desarrollo folicular y la formación de cuerpos lúteos normales, aumentando el porcentaje de ovejas que ovularon.

La incidencia e inicio al estro fue menor ($p \leq 0.05$) para las ovejas con rBST (T3) en comparación con el resto de los tratamientos. Esta respuesta es asociada a la pérdida de peso de las ovejas en este tratamiento, por lo que las hembras priorizan su energía para mantenimiento y la de su cría, que al aspecto reproductivo; ocasionando que la mayoría de las hembras no presentara estro. Por otra parte, el progestágeno no fue suficiente para inducir a las hembras a presentar estro bajo estas condiciones. Similares resultados fueron encontrados por Méndez (2014), la cual trabajando con ovinos en el postparto, encontró un porcentaje de presentación del estro de 56.25 % con la aplicación de 250 mg de rBST. Así, la condición corporal y el peso al parto y durante el postparto son factores importantes para responder a un protocolo de inducción de la ovulación.

Las ovejas con rBST (T3) presentaron un inicio del estro con una distribución más larga, debido a que la mitad de las hembras no presentaron estro. Sin embargo, las hembras que presentaron estro, el tiempo al inicio del estro fue corto en comparación con el resto de los tratamientos.

Lo anterior indica que la aplicación de rBST produjo estimulación del desarrollo folicular, produciendo mayor cantidad de estradiol (Lenz *et al.*, 2007) necesario para las manifestaciones externas de estro, por lo que el inicio del estro se presentó más rápido en las hembras de mejor condición corporal. En las ovejas que no manifestaron estro la pérdida de peso fue un factor determinante para que esto no sucediera, ya que reducciones en la concentración de leptina e insulina provocan una inhibición en la secreción pulsátil de GnRH necesaria para lograr un pico preovulatorio de LH (Guzmán *et al.*, 2012).

Las ovejas con la aplicación de rBST (T3) tuvieron mayor ($p \leq 0.05$) retorno al estro, así como menor ($p \leq 0.05$) fertilidad en comparación con el resto de los tratamientos a consecuencia de bajos valores en el porcentaje de ovulación a los 29 d pp, manifestaciones de estro y pérdida de peso. En este grupo de ovejas la presencia de cuerpos lúteos de vida media corta pudo presentarse, en donde existe una liberación anticipada de PGF2 α por el útero y una baja concentración de progesterona que no es suficiente para mantener una gestación (Zoller *et al.*, 1993), disminuyendo la fertilidad y aumentando los retornos a estros. Una alta condición corporal al momento de la cubrición mejora los porcentajes de fertilidad (Albuerne y Perón 1997). Sin embargo la mayoría de las hembras del T3, estaban perdiendo peso a partir de los 18 d pp provocando que se incrementaran los retornos a estro y la fertilidad disminuyera.

El mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de gestación fue para las ovejas con reconstituyente metabólico (T2) con respecto a las ovejas testigo y con rBST (T1 y T3); y similar a las ovejas con la combinación del reconstituyente metabólico más rBST (T4). El menor porcentaje de gestación y parición lo mostraron las ovejas con rBST. Los resultados obtenidos en el porcentaje de gestación en este estudio son influenciados por la aplicación del reconstituyente metabólico, el cual favorece la función ovárica para generar óvulos de mejor calidad con la capacidad de mantener una gestación.

Los menores porcentajes de gestación en ovejas con rBST son derivados de la menor fertilidad y la pérdida de peso en las hembras. Puesto que similares resultados a este tratamiento son reportados por Méndez (2014) en ovejas en el postparto (12.5 %). Bauman y Vernon (1993) mencionan que administrar rBST eleva las necesidades nutricionales de las hembras en producción, de esta forma la aplicación del reconstituyente metabólico en las ovejas del T4 mejoró los porcentajes de gestación.

El mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de parición fue para ovejas con aplicación de reconstituyente metabólico (T2) con respecto al testigo (T1) y ovejas con rBST (T3) y similar a la combinación (T4). El valor más bajo fue para ovejas con rBST (T3) pero similar a T1 (AC). La aplicación del reconstituyente metabólico mejora la calidad de ovocitos y cuerpos lúteos, que producen mayor cantidad de progesterona necesaria para mantener una gestación y por consiguiente incrementar el porcentaje de parición como se observa en las ovejas con reconstituyente metabólico (T2) y reconstituyente metabólico más rBST (T4).

Las ovejas con el reconstituyente metabólico mostraron la mayor ($p \leq 0.05$) fecundidad, con respecto a T1 y T3, pero similar a T4; T1 y T4 fueron iguales. El valor más bajo se observó para las ovejas con rBST (T3). En la variable prolificidad no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos. La fecundidad está relacionada con la fertilidad y prolificidad, donde factores que afecten a las anteriores, tienen repercusión en esta característica. Las ovejas con AC + R (T2) y AC + R+ rBST (T4) presentaron los valores más altos debido al porcentaje de ovejas que estaba ovulando a los 29 d pp y al número de ovejas gestantes y que parieron; incrementándose la fecundidad. De forma contraria, el valor más bajo es para las ovejas del T3 (AC + rBST), debido al menor número de hembras que presentaron estro, quedaron gestantes y a la pérdida de peso, que repercutió en todas las variables reproductivas.

La variable prolificidad no se vio afectada por el uso del reconstituyente metabólico y rBST. Además, de que las razas de pelo están consideradas como una de las más prolíficas. Los resultados de este estudio son inferiores a los reportados por Méndez (2014), la cual encontró una media general para prolificidad de 2.0 ± 0.0 corderos oveja⁻¹ utilizando rBST en combinación con amamantamiento continuo y controlado.

No se encontraron cambios significativos ($p > 0.05$) en el peso corporal en ovejas entre los tratamientos, pero si dentro de periodos e interacción periodo por tratamiento ($p \leq 0.05$). En general, las ovejas mantienen o incrementan su peso en los primeros nueve días postparto, posteriormente pierden peso. Las ovejas de T1 y T2 (AC y AC + R) mantienen los pesos más estables a través del tiempo, en comparación con las ovejas a las que se les aplicó rBST, donde se observa que después de las aplicaciones (18 y 36 d pp) existe una caída de peso por la gluconeogénesis hepática (Prado *et al.*, 2003) orientada principalmente para la producción de leche; donde su efecto principal es una semana después de su aplicación (Bauman y Vernon, 1993; Sallam *et al.* 2005), aunado a que iniciaron el estudio con un peso menor que el resto. Las ovejas con la combinación del reconstituyente y rBST (T4) se mantuvieron más estables en peso y, puede ser atribuible a la aplicación del reconstituyente metabólico que evitó una remoción de reservas drástica en las semanas posteriores a su aplicación.

Las mayores pérdidas de peso se observan en los periodos comprendidos del 18 al 27 y 36 al 45 para todas las ovejas. Camacho *et al.* (2009) señalan que el pico de lactancia en ovejas se presenta en la tercera semana postparto, coincidiendo con las pérdidas más fuertes de nutrientes por la aplicación de rBST y, en donde existe la máxima producción de leche y ganancias de peso en los corderos.

En el peso de corderos, se encontró diferencia ($p \leq 0.05$) para tratamientos, periodo y la interacción periodo por tratamiento. Los corderos siempre tendieron a aumentar en peso corporal a medida que transcurrió el tiempo.

Corderos provenientes de madres a las que se les aplicó rBST tuvieron los mejores pesos al destete que el resto de los tratamientos, por la mayor producción de leche de sus madres a consta de disminuir su peso corporal. El resto de los tratamientos tuvieron pesos similares a los reportados por Morales-Terán *et al.* (2004) y mayores a los reportados por Pérez-Hernández *et al.* (2009) y Montiel (2014) en corderos de pelo.

En el estudio tres, el mayor ($p \leq 0.05$) porcentaje de ovejas que ovularon a los 29 días postparto fue para las ovejas expuestas al macho (T2 y T4) con respecto a las que no fueron expuestas; el valor más bajo lo presento las ovejas con rBST (T3) con respecto al resto de los tratamientos. Las ovejas expuestas al estímulo del carnero tuvieron una mejor respuesta al porcentaje de ovulación a los 29 d pp, confirmando que el macho estimula la secreción pulsátil de GnRH y LH, induciendo a las hembras en anestro a reiniciar más rápidamente su ciclicidad. Estos resultado son mayores a los encontrados por Morales-Terán *et al.* (2011), los cuales encontraron ~65 % de ovulación a los 50 días y similares (100 %) a los encontrados por Cruz (2011) a los 35 d pp en ovejas con amamantamiento continuo y efecto macho.

Las ovejas del T3 (AC + rBST) obtuvieron el menor porcentaje de ovulación, esto se debe a la pérdida de peso y condición corporal por la aplicación de la hormona rBST. Siendo que la aplicación de rBST no estimula únicamente la producción de leche, sino también promueve la gluconeogénesis en el hígado y la lipólisis en los adipocitos (Rivas *et al.*, 2011); por ello, los cambios en concentración de hormonas metabólicas como leptina, IGF-I e insulina pueden alterar el desarrollo del folículo ovulatorio en la primera onda folicular postparto y que esta no se presente, lo que quizá ocurrió en este grupo de ovejas.

Las ovejas del T4 (AC+ EM+rBST) obtuvieron las mayores respuestas al porcentaje de ovulación a los 29 d pp por sus mayores pesos al parto lo que ayudo a tener menor pérdida de peso por la aplicación de rBST en comparación a ovejas del T3. Lo que sugiere que ovejas con pesos y una condición corporal alta durante el postparto responden satisfactoriamente a la aplicación de rBST y al efecto macho.

A los 50 d pp, las ovejas con AC (T1) y expuestas al macho (T2 y T4) obtuvieron los mayores porcentajes de ovulación. Los resultados son consecuencia del número de ovejas que se encontraba ovulando a los 29 d pp. Además, el estímulo del macho más la incorporación de un progestágeno aumenta la posibilidad de que las hembras produzcan un óvulo de mejor calidad, ya que se prolonga la exposición de los folículos en desarrollo al efecto de gonadotropinas; de esta manera, se evita que se produzcan cuerpos luteos de vida media corta que regresionan (Garverick *et al.*, 1992). En este sentido, resultados similares son reportados por Castillo (2012) y Montiel (2014) las cuales trabajando con amamantamiento continuo y efecto macho encontraron 91.7 y 95 % de ovulación después de retirado un CIDR.

El valor más bajo para esta variable lo presentaron las ovejas del T3, causado por la pérdida de peso, que impidió que las hembras dieran mayor prioridad a los eventos reproductivos. En general la aplicación del CIDR por cinco días logró mejorar la respuesta en porcentaje de ovulación a los 50 días postparto.

Las mayores incidencias al estro se encontraron para AC, AC + EM y AC + EM + rBST pero diferentes ($p \leq 0.05$) a ovejas con AC + rBST. El menor inicio al estro fue para AC en comparación con AC + EM y AC + rBST (T2 y T4); AC + EM y AC + EM + rBST fueron similares pero diferentes ($p \leq 0.05$) a AC + rBST (T3).

La respuesta en incidencia al estro es debida principalmente al número de ovejas que ya se encontraba ovulando por el estímulo del macho y a la inserción de progesterona por medio del CIDR que coadyuvo a mejorar la respuesta. Puesto que las concentraciones séricas de progesterona secretada por el dispositivo, desencadenan un efecto positivo en el crecimiento folicular, incrementando la cantidad de folículos grandes con mayor secreción de estradiol y con potencial para ovular. Así hembras con pesos corporales altos, la aplicación de rBST no muestra efectos negativos en combinación con efecto macho para esta variable.

La aplicación de rBST en las ovejas de T3 incitó a que las hembras removieran mayor cantidad de nutrientes para la producción de leche y presentar un balance energético negativo, inhibitorio de la secreción pulsátil de GnRH/LH, FSH y hormonas metabólicas (insulina, leptina e IGFs) que indujeron a un menor desarrollo folicular y la ausencia de expresión de estros. Resultados similares son reportados por Méndez (2014) en ovejas en el postparto con un protocolo de sincronización por cinco días (56.25 %). A su vez, Álvarez (2010) reportó 100 % de estros al utilizar un protocolo de sincronización en ovejas cíclicas con la aplicación de 125 mg de rBST dos días antes del retiro de una esponja de FGA por 12 días. De esta manera, durante el anestro postparto el balance energético de las hembras es uno de los factores más importantes para el reinicio de la actividad ovárica.

El inicio al estro se presentó más rápido en ovejas con AC (T1) siendo similar a ovejas con AC + EM + rBST (T4), lo que sugiere que el efecto macho y rBST no intervienen de manera significativa en esta variable a menos que se combinen.

La mitad de las ovejas con rBST (T3), no mostraron signos de estro por lo que el tiempo al inicio del estro se prolongó más allá de las 70 h. La demora en el inicio del estro es debido a factores negativos por la pérdida de peso de este grupo, así como al desarrollo de folículos pequeños que no secretan gran cantidad de estradiol.

Estos resultados son similares a los encontrados por Méndez (2014), quien logra una entrada al estro de las ovejas a las 21.91 ± 2.76 h con aplicación de rBST.

El retorno a estro y fertilidad no fueron diferentes ($p > 0.05$) entre tratamientos para ninguna de las variables. La presencia de retornos al estro está influenciada por varios factores como: fallas en la ovulación, óvulos persistentes, fallas en la fertilización, mortalidad embrionaria temprana, cuerpos lúteos de vida media corta, entre otros que hacen que el porcentaje de retornos se incremente y la fertilidad disminuya, alguno de ellos pudo haber influido para obtener esta respuesta. Sin embargo, se observa que las ovejas con efecto macho presentan un menor retorno al estro y, por lo tanto la fertilidad aumenta en comparación con las ovejas de rBST donde el porcentaje de ovejas que retorna es mayor pero el error se incrementa.

Para el porcentaje de gestación y parición no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos. Se observaron bajos porcentajes de gestación para todos los tratamientos y, por consiguiente, la parición disminuyó. A pesar que el efecto macho induce a la reactivación ovárica postparto; es común que en la primera ovulación se presenten cuerpos lúteos de vida media corta que secretan poca cantidad de progesterona y son incapaces de mantener una gestación por lo que regresionan y disminuye la gestación. En lo que respecta a ovejas con la aplicación de rBST, esta hormona es asociada al desarrollo folicular y reconocimiento temprano de la gestación (Rivas *et al.*, 2011), mismo que quizá no ocurrió por la lipólisis que incito su aplicación, disminuyendo la viabilidad embrionaria y el porcentaje de gestación. Además, desde el punto de vista biológico, la hembra lactante invierte preferentemente sus limitados recursos en la supervivencia de la cría que sobre la viabilidad de ovocitos que pueden ser fertilizados y puedan implantarse e iniciar una nueva gestación. Pese a lo anterior, el uso del efecto macho y la aplicación de rBST no mostraron tener ningún efecto en estas variables.

No hubo diferencias para prolificidad, pero si para fecundidad donde las ovejas con AC, AC + EM y AC +EM + rBST fueron las de mayor ($p \leq 0.05$) número de corderos en comparación con ovejas con AC + rBST. Las ovejas provenientes de rBST (T3) presentaron la menor fecundidad, ya que la condición corporal y el peso guarda una estrecha relación con la tasa ovulatoria y, por ende, con la cantidad de corderos nacidos (Hindson, 1994). De tal manera que aquellas ovejas que se encuentran en una mejor condición de peso, tendrán una tasa de partos múltiples mayor (Newton *et al.*, 1980) y, por lo tanto, se incrementa la fecundidad y prolificidad. Lo anterior podría explicar la menor fecundidad y prolificidad del grupo con rBST puesto que su peso es menor al resto de los tratamientos. En un estudio, Méndez (2014) encontró una fecundidad y prolificidad para AC + rBST de 0.25 ± 0.17 y 2.00 ± 0.00 corderos oveja⁻¹, respectivamente; los cuales son muy semejantes a los de este estudio, no así para AC (1.44 ± 0.29 y 2.17 ± 0.24 corderos oveja⁻¹). Otro estudio en ovejas cíclicas con rBST, se encontró 1.95 ± 0.11 y 2.13 ± 0.91 corderos oveja⁻¹ (Sosa, 2012), superiores a los de este estudio. Respecto a los tratamientos con AC y AC + EM, las respuestas son similares a las encontradas por Castillo Maldonado *et al.* (2013) en ovejas en el postparto (1.5 y 1.7 corderos oveja⁻¹).

Los cambios de peso corporal en las ovejas no fue diferente ($p > 0.05$) entre los tratamientos, pero si ($p \leq 0.05$) entre periodos e interacción tratamiento por periodo. Los periodos que abarca del 18 al 27 y 36 al 45 postparto, es observada la mayor pérdida de peso de las ovejas a las que se les aplicó rBST, esto coincide con lo mencionado por Bauman y Vernon (1993) y Sallam *et al.* (2005); los cuales señalan que el efecto de rBST es gradual en los primeros días después de su aplicación, alcanzando su efecto máximo una semana después.

La aplicación de rBST en hembras en balance energético negativo promovió la gluconeogénesis en el hígado y actuó como un iniciador de la lipólisis masiva para producción de leche (Rivas *et al.*, 2011).

Lo anterior trajo como consecuencia que hormonas metabólicas como insulina e IGFs se vieran alteradas y provocaran un bajo desempeño reproductivo, como se encontró en las ovejas del grupo de rBST. La misma respuesta en pérdida de peso en ovejas en el postparto fue observada por Méndez (2014) haciendo control del amamantamiento en ovejas y con la aplicación de rBST, donde menciona que disminuye más el peso de ovejas con amamantamiento continuo que en las que se les maneja el amamantamiento, debido a que los corderos tienen más acceso a la leche y es mayor el estímulo para su producción. Sugiriendo que es necesario aumentar el aporte de nutrientes en la dieta ofrecida a las ovejas para evitar la remoción de reservas y la pérdida de peso, y con ello garantizar mayores respuestas reproductivas.

El cambio de peso corporal en corderos fue afectado ($p \leq 0.05$) por el tratamiento, periodo y tratamiento por periodo (Anexo 6), donde los corderos de madres a las que se les aplicó rBST (T3 y T4) fueron los más pesados en comparación con AC y AC + EM. Los corderos siempre tendieron a aumentar de peso a medida que transcurrió el tiempo, siendo los de mayor peso los provenientes de ovejas a las que se les aplicó rBST. Se observa que los mayores incrementos en peso suceden en los mismos periodos en que las ovejas pierden mayor peso (18-27 y 36-45), lo cual explica la mayor producción de leche y mayores ganancias de peso para el cordero. Estos resultados difieren por los encontrados por Méndez (2014), la cual reporta que la aplicación de rBST en ovejas en el postparto no tiene influencia en la ganancia de peso de los corderos.

La aplicación de rBST induce la pérdida de peso en ovejas con un metabolismo energético negativo, pero favorece la producción de leche y con ello mejores pesos al destete de sus corderos. Además, el cambio de peso corporal en ovejas y corderos no es afectado por la estimulación del carnero y, corderos provenientes de AC tendieron a tener pesos al destete similares a aquellos de rBST.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

La bioestimulación ejercida por el macho durante 25 días influyó positivamente para restablecer la actividad ovulatoria cíclica de las ovejas de pelo en anestro postparto antes de los 29 días, acortando de esta forma el periodo postparto e induciendo a que se tenga mayor oportunidad de que las hembras queden gestantes sin afectar la eficiencia reproductiva y productiva.

La inserción de un dispositivo intravaginal (CIDR) conteniendo progesterona por cinco días en ovejas de pelo en el día 33 postparto es suficiente para que las hembras respondan a la presentación del estro, siempre y cuando se encuentren en una buena condición corporal.

La administración de un reconstituyente metabólico (Metabolice®), dos días antes dentro de un protocolo de inducción del estro de cinco días, puede utilizarse para mejorar el porcentaje de gestación, parición y fecundidad; además, de sincronizar y homogeneizar la presentación de estro en un menor tiempo, sin disminuir la eficiencia reproductiva y productiva de las ovejas.

La aplicación de Somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®) en los días 18 y 36 postparto, en general influyó negativamente sobre las variables reproductivas y el peso corporal de las ovejas, pero positivamente sobre el peso corporal de los corderos.

La combinación del reconstituyente metabólico con el efecto macho o con somatotropina bovina recombinante mejora la respuesta a las variables reproductivas dentro de un protocolo de inducción por cinco días.

IX. RECOMENDACIONES

Para mejores respuestas reproductivas a la aplicación de somatotropina bovina recombinante (rBST) se debe asegurar que las hembras al parto tengan una buena condición corporal, así como un peso aceptable para evitar pérdidas en peso y condición corporal que puedan afectar la respuesta reproductiva. Para ello, se puede implementar una estrategia de alimentación focalizada durante el tiempo donde la hormona muestra su mayor efecto.

El amamantamiento sigue siendo uno de los factores más potentes que inhiben el reinicio de la actividad ovárica, por lo que se hace necesario seguir en la búsqueda de estrategias que minimicen su efecto. Las respuestas obtenidas por hembras en amamantamiento continuo en algunas variables fueron buenas. Sin embargo, en general sigue siendo inferior a si se combina con algún otro efecto positivo. Por lo que es recomendable introducir nuevas estrategias al manejo del amamantamiento continuo, ya que la combinación suele mejorar la respuesta.

El efecto macho puede ser incorporado fácilmente en condiciones de manejo, además de que su costo de aplicación es bajo, aunque hay que tener en cuenta que se requiere de una adecuada planificación para que el estímulo sea positivo.

Debe tomarse en cuenta la posibilidad de trabajar en la selección de ovejas con menor efecto al anestro postparto, ya que según el estudio, 46.6 % de las ovejas ya se encontraba ovulando a los 29 días postparto sin la influencia de algún estímulo.

X. LITERATURA CITADA

- Adib, A., S. Freret., L.L. Touze., D. Lomet., L. Lardic., D. Chesneau., A. Estienne., P. Papillier., D. Monniaux., and M.T. Pellicer-Rubio. 2014. Progesterone improves the maturation of male- induced preovulatory follicles in anoestrous ewes. *Reproduction Research*. 148: 403-416.
- Aguirre, H.Y. 2005. Efecto de la somatotropina bovina recombinante (rRBST) sobre la prolificidad de ovejas Pelibuey sincronizadas. Tesis de licenciatura. U.A.N. Compostela, Nayarit.
- Albuerne, R., y N. Perón. 1997. Condición corporal y peso vivo de la oveja Pelibuey. Efecto sobre la tasa reproductiva. *Revista Cubana de Reproducción Animal*. 22(2): 21-26.
- Álvarez, M.Y. 2010. Efecto de la aplicación de somatotropina bovina recombinante (rbST) aplicada dos días antes de la presentación del celo sobre la fertilidad en ovejas de la raza Pelibuey. Tesis de licenciatura. U.A.N. Compostela, Nayarit.
- Álvarez, R.L., y Q.L.A. Zarco. 2001. Los Fenómenos de la Bioestimulación sexual en Ovejas y Cabras. *Veterinaria México*. 32(2): 117-129.
- Arellano-Lezama, T., J.A. Hernández-Marín., C. Cortez-Romero., G. Morales-Terán., y J. Gallegos-Sánchez. 2013. "Efecto macho" en el manejo reproductivo de la oveja. *Agroproductividad*. 6 (6): 3-8.
- Arroyo, J., M.A. Camacho-Escobar., N.Y. Ávila-Serrano., and J.A. Hoffman. 2011. Influence of restricted female-lamb contact in length of postpartum anestrous in Pelibuey sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 643-648.
- Arroyo, J., H. Magaña-Sevilla, y M. A. Camacho-Escobar. 2009. Regulación neuroendocrina del anestro posparto en la oveja. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 301-312.
- Arroyo-Ledezma, J., J. Gallegos-Sánchez., G.A. Villa., y M.J. Valencia. 2006. Sistemas neurales de retroalimentación durante el ciclo reproductivo anual de la oveja: Una Revisión. *Interciencia*. 31(1): 8-15.
- Arroyo-Ledezma, J., P. Pérez-Hernández, A.I. Porras-Almeraya, H. Vaquera-Huerta, A. Pro- Martínez, y J. Gallegos-Sánchez. 2000. Amamantamiento y concentración sérica de progesterona (P4) posparto en ovejas Pelibuey. *Revista Chapingo. Serie Ingeniería Agropecuaria*. 3: 47-54.
- Barb, C.R., R. Kraeling R., G. Rampacek B., and C. Whisnant C. 1986. Opioid inhibition of luteinizing hormone secretion in the postpartum lactating sow. *Biology of Reproduction*. 35: 368-371.
- Bari, F., M. Khalid., W. Haresign., A. Murray., and B. Merrel. 2003. Factors affecting the survival of sheep embryos after transfer within a MOET program. *Theriogenology*. 59: 1265-1275.
- Bartlewski, P.M., A.P. Beard., S.J. Cook., and N.C. Rawlings. 2002. Ovarian activity during sexual maturation and following introduction of the ram to ewe lambs. *Small Ruminant Reserch*. 43: 37-44.
- Bauman, D.E. 1999. Bovine somatotropin and lactation from basic science to comercial application. *Domestic Animal Endocrinology*. 17: 101-116.
- Bauman, D.E. 1992. Bovine somatotropin: Review of an emerging animal technology. *Journal Dairy Science* 75: 3432-3451.
- Bauman, D.E., and R.G. Vernon. 1993. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. *Annual Review of Nutrition*. 13: 437-461.

- Bedos, M., J.A. Flores., G. Fitz-Rodríguez., M. Keller., B. Malpaux., P. Poindron., and J.A. Delgadillo. 2010. Four hours of daily contact with sexually active males is sufficient to induce fertile ovulation in anestrus goats. *Hormones and Behavior*. 58: 473-477.
- Ben-Jonathan, N., and R. Hnasko. 2001. Dopamine as a prolactin (PRL) inhibitor. *Endocrine Reviews*. 22(6): 724-63.
- Blache, D., C.L. Adam., and G.B. Martin. 2002. The mature male sheep: a model to study the effects of nutrition on the reproductive axis. In *Large mammals as neuroendocrine models*. *Reproduction Supplement*. 59: 219-233.
- Block, J. and P. Hansen. 2007. Interaction between season and culture with insulin like growth factor-1 on survival of in vitro produced embryos following transfer to lactating dairy cows. *Theriogenology*. 6: 1518-1529.
- Borg, K.E., K.L. Esbenshade., B.H. Johnson., D.D. Lunstra., and J.J. Ford. 1992. Effects of sexual experience season and mating stimuli on endocrine concentrations in the adult ram. *Hormones and Behavior*. 26: 87-109.
- Brann, D.W., and V.B. Mahesh. 1997. Excitatory amino acids: evidence for a role in the control of reproduction and pituitary hormone secretion. *Endocrine Reviews*. 18: 678-700.
- Bucholtz, D.C., N.M. Vidwans., C.G. Herbosa., K.K. Schillo., and D.L. 1996. Foster. Metabolic interfaces between growth and reproduction: pulsatile luteinizing secretion is dependent on glucose availability. *Endocrinology*. 137: 601-607.
- Bulbarela-García, G., A. Pro-Martínez, C.M. Becerril-Pérez, P. Díaz-Rivera, A. Rosendo-Ponce y J. Gallegos-Sánchez. 2009. Efecto de L-arginina y aceite de pescado en el comportamiento reproductivo de ovejas de pelo sincronizadas con un progestágeno. *Agrociencia* (43): 371-377.
- Butler, W.R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*. 61: 449-457.
- Camacho, R.J.C., O.A. Villarreal E., J.E. Hernández H., F.J. Franco G., J. del C. Rodríguez C., D. García C., J. Gallegos S. 2009. Restricción del amamantamiento en la eficiencia reproductiva postparto de ovejas Pelibuey. XXXIV Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia (SEOC): Barbastro, 16-19 de septiembre. Pp 346-350.
- Capuco, A.V., J.E. Key., and J. J. Smith. 1989. Somatotropin increase Thyroxin 5-monodeiodinase activity in lactating mammary tissue of the cow. *Endocrinology*. 121: 205-211.
- Caraty, A., N.P. Evans., C. Fabre-Nys., and F.J. Karsch. 1995. The preovulatory gonadotrophin-releasing hormone surge: a neuroendocrine signal for ovulation. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* 49: 245-255.
- Carbone, S., B. Szwarcfarb., M.E. Otero-Losada., J.A. Moguilevsky. 1992. Effects of ovarian steroids on gonadotropin response to N-methyl-D-aspartate and on hypothalamic excitatory amino acid levels during sexual maturation in female rats. *Endocrinology*. 130: 365-1370.
- Carrillo, D.F. 2006. Efecto de la Somatotropina bovina recombinante (bST) sobre la productividad de ovejas Pelibuey sincronizadas. Tesis de Maestría. U.A.N. Compostela, Nayarit.
- Castillo, M.P.P. 2012. Manejo reproductivo postparto en ovejas de pelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 65 p.
- Castillo-Maldonado, P.P., H. Vaquera-Huerta, L.A. Tarango-Arámbula, P. Pérez-Hernández, C.A. Herrera-Corredor, y J. Gallegos-Sánchez. 2013. Restablecimiento de

- la actividad reproductiva posparto en ovejas de pelo. *Archivos de Zootecnia*. 62 (239): 419-428.
- Cerna, C., A. Porras., J.M. Valencia., G. Perera., and L. Zarco. 2000. Effect of an inverse subtropical (19° 13' N) photoperiod on ovarian activity, melatonin and prolactin secretion in Pelibuey ewes. *Animal Reproduction Science*. 60(61): 511-525.
- Chilliard, Y., C. Delavaud., and M. Bonnet. 2005. Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Domestic Animal Endocrinology*. 29: 3-22.
- Cognie, Y., S.J. Gray., D.R. Lindsay., C.M. Oldham., D.T. Pearce., and J.P. Signoret. 1982. A new approach to controlled breeding in sheep using the "ram effect". *Proceeding of the Australian Society of Animal Production*. 14: 519-522.
- Cohen-Tannoudji, J., J. Einhorn., J.P. Signoret. 1994. Ram sexual pheromone: first approach of chemical identification. *Physiology & Behavior*. 56: 955-961.
- Coll, A.P., I.S. Farooqi., and S. O'Rahilly. 2007. The hormonal control of food intake. *Cell*. 129: 251-262.
- Cosgrove, J.R., F. de Rensis., and G.R. Foxcroft. 1993. Opioidergic pathways in animal reproduction: Their role and effects of their pharmacological control. *Animal Reproduction Science*. 33: 373-392.
- Cruz, E.F. 2011. "Efecto macho" y su relación con el anestro posparto en la oveja Pelibuey amamantando. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 51 p.
- Curtis, D.R., J.W. Phillis., and J.C. Watkins. 1959. Chemical excitation of spinal neurones. *Nature* 183: 611.
- Daftary, S.S., and A.C. Gore. 2005. IGF-1 in the brain as a regulator of reproductive neuroendocrine function. *Experimental Biology and Medicine*. 230: 292-306.
- Davidson, T.R., S.C. Chamberlain., S.T. Bridges., and J.L. Spicer. 2002. Effect of follicle size on in vitro production of steroids and insulin-like growth factor (IGF)-I, IGF-II, and the IGF-binding proteins by equine ovarian granulosa cell. *Biology of Reproduction*. 66(6): 1640-1648.
- Day, M.L. 2004. Hormonal induction of estrous cycles in anestrus *bos taurus* beef cows. *Animal Reproduction Science*. 82(83): 487-494.
- Delgadillo, J.A., H. Gelez., R. Ungerfeld., P.A.R. Hawken., and G.B. Martin. 2009. The 'male effect' in sheep and goats – revisiting the dogmas. *Behavioural Brain Research*. 200: 304-314.
- Dhandapani, K.M., and D. W. Brann. 2000. The role of glutamate and nitric oxide in the reproductive neuroendocrine system. *Biochemistry and Cell Biology*. 78: 165-179.
- Evans, N.P., T.A. Richter., D.C. Skinner., and J.E. Robinson. 2002. Neuroendocrine mechanisms underlying the effects of progesterone on the oestradiol-induced GnRH/LH surge. *Reproduction Supplement*. 59: 57-66.
- Fabre-Nys, C., and G.B. Martin. 1991 Hormonal control of proceptive and receptive sexual behavior and the preovulatory LH surge in the ewe: reassessment of the respective roles of estradiol, testosterone, and progesterone. *Hormones and Behavior* 25: 295-312.
- Fitzgerald, B.P., and F.G. Cunningham. 1981. Effect of removal of lambs or treatment with bromocriptine on plasma concentrations of prolactin and FSH during the postpartum period in ewes lambing at different times during breeding season. *Journal Reproduction Fertility*. 61: 141-148.
- Flores, J.A., F.G. Véliz., J.A. Pérez-Villanueva., G. Martínez de la Escalera., P. Chemineau., P. Poindron., B. Malpoux., J.A. Delgadillo. 2000. Male reproductive

- condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biology of Reproduction*. 62: 1409-1414.
- Galina, M.A., R. Morales., A. Silva., and B. López. 1996. Reproductive performance of Pelibuey and Blackbelly sheep under tropical management systems in Mexico. *Small Ruminant Reserch*. 22: 31.
- Gallegos-Sánchez, J., O. Tejeda-Sartorius., C. Cortez-Romero., P. Pérez-Hernández., y J. Salazar-Ortiz. 2013. Métodos “Limpios, verdes y éticos” para aumentar la eficiencia reproductiva de rumiantes. *Agroproductividad*. 6 (6): 30-35.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. FOCET. 3a. Ed. México. 246 p.
- Garverick, H.A., W.G. Zollers Jr. and M.F. Smith. 1992. Mechanisms associated with corpus luteum lifespan in animals having normal or sub-normal luteal function. *Animal Reproduction Science*. 28: 111-124.
- Gatica, M.C., I. Celi., J.L. Guzmán., y L.A. Zarazaga. 2012. Utilización de fotoperiodo e implantes de melatonina para el control de la reproducción en caprinos Mediterráneos. *REDVET*. 13(10): 1-15.
- Gelez, H., and C. Fabre-Nys. 2006. Neural pathways involved in the endocrine response of anestrus ewes to the male or its odor. *Neuroscience*. 140(3): 791-800.
- Gelez, H., and C. Fabre-Nys. 2004. The “male effect” in sheep and goats: a review of the respective roles of the two olfactory systems. *Hormones and Behavior*. 46: 257-271.
- Ghenim, M., L. Dufourny., and C. Fabre-Nys. 2012. Kisspeptin neurons are activated during the male effect in sheep. In: 2nd World Conference Kisspeptin Signaling in the Brain. Tokyo, Japon. Pp. 122.
- Godfrey, R.W., and R.E. Dodson. 2003. Effect of supplemental nutrition around lambing on hair sheer ewes and lambs during the dry and wet seasons in the U.S. Virgin Islands. *Journal of Animal Science*. 81(3): 587-593.
- González-Bulnes, A., A.J. Carrizosa., B. Urrutia., and A. López-Sebastian. 2006. Oestrous behaviour and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reproduction, Fertility, and Development*. 18: 745-50.
- González-Bulnes, A., A. Veiga-Lopez., P. Garcia., R.M. Garcia-Garcia., C. Ariznavarreta., M.A. Sanchez., J.A. Tresguerres., M.J. Cocero., and J.M. Flores. 2005. Effects of progestagens and prostaglandin analogues on ovarian function and embryo viability in sheep. *Theriogenology*. 63: 2523-2534.
- González-Reyna, A., J. Valencia., C.W. Foot., and D.B. Murphy. 1991. Hair sheep in México: Reproduction in the Pelibuey sheep. *Animal Breeding Abstracts*. 59: 509-524.
- González-Stagnaro, C., J. Ferreira N., N. Madrid B., y Z. Chirinos. 2002. Involución uterina en ovejas deslanadas West African en el medio tropical. *Revista Científica. FCV-LUZ*. 12(5): 329-337.
- Gregg, D.W., G.E. Moss., R.E. Hudgens., and P.V. Malven. 1986. Endogenous opioid modulation of luteinizing hormone and prolactin secretion in postpartum ewe and cows. *Journal Animal Science*. 63: 838-847.
- Gutiérrez, C. 2005. Manejo hormonal del ciclo estral. *Reproducción de Animales Domésticos*. Ed. LIMUSA. 2a Ed. México. 117-126 p.
- Guzmán, S.A., A.M. Rosales-Torres., and C. Gutiérrez A. 2012. Neuroendocrine effects of Insulin, IGF-I and Leptin on the secretion of the gonadotropin-releasing hormone (GnRH). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15(1): 79-90.

- Hawken, P.A.R., and G.B. Martin. 2012. Sociosexual stimuli and gonadotropin-releasing hormone/luteinizing hormone secretion in sheep and goats. *Domestic Animal Endocrinology* 43: 85-94.
- Hawken, P.A.R., T. Esmaili., V. Scanlan., D. Blache., and G.B. Martin. 2009. Can audio-visual or visual stimuli from a prospective mate stimulate a reproductive neuroendocrine response in sheep?. *Animal*. 3: 690-696.
- Hawken, P.A.R., A.O.C. Evans., and A.P. Beard. 2008. Prior exposure of maiden ewes to rams enhances their behavioural interactions with rams but is not a pre-requisite to their endocrine response to the ram effect. *Animal Reproduction Science*. 108: 13-21.
- Hawken, P.A.R., A.P. Beard., C.M. O'Meara., P. Duffy., K.M. Quinn., T.F. Crosby., M.P. Boland., and A.C.O. Evans. 2005. The effects of ram exposure during progestagen oestrus synchronisation and time of ram introduction post progestagen withdrawal on fertility in ewes. *Theriogenology*. 63: 860-871.
- Heredia, A.M., F. Quintal., y R.O. Rodríguez. 1985. Evaluación de dos escalas de condición física por medio del comportamiento reproductivo de la oveja Pelibuey. *Memoria de la Reunión de Investigación Pecuaria en México*. D.F. 217 p.
- Hernández-Cerón, J. y C. Gutiérrez-Aguilar. 2013. La somatotropina bovina recombinante y la reproducción en bovinos, ovinos y caprinos. *Agrociencia*. 47: 35-45.
- Hernández, M.J.A. 2015. Estrategias de manejo reproductivo en los ovinos Pelibuey con "efecto macho y nutrición focalizada. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México 103 p.
- Hernández-Marín, J.A., T. Arellano-Lezama., P. Pérez-Hernández., C. Cortez-Romero., J. Gallegos-Sánchez. 2014. Sincronización del estro en ovejas Pelibuey postparto inducidas con acetato de fertirelin y efecto macho. *Memorias de la XLI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C. (AMPA) y VII Reunión Nacional de Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Mérida, Yucatán, México. Pp. 613-618.
- Hill, J.W., J.K. Elmquist., and C.F. Elias. 2008. Hypothalamic pathways linking energy balance and reproduction. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*. 294: 827-832.
- Hindson, J. 1994. Differential diagnosis of weight loss in the ewe. *In Practice*. 16:204-208.
- Hinojosa-Cuéllar, J.A., J. Oliva-Hernández., G. Torres-Hernández., J.C Segura-Correa., E.M Aranda-Ibáñez., y J.M. González-Camacho. 2012. Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia* 28(2): 163-171.
- Houseknech, K.L., C.A. Baile., R.L. Matteri., and M.E. Spurlock. 1998. The biology of Leptin: a review. *Journal of Animal Science* 76: 1405-1420.
- Izadyar, F., H.T. Van Tol., B. Colenbrander., and M.M. Bevers. 1997. Stimulatory effect of Growth Hormone on In vitro maturation of bovine oocytes in exerted through cumulus cells and not mediated by IGF-I. *Molecular Reproduction and Development*. 47: 175-180.
- Jolly, P.D., S. McDougall., L.A. Fitzpatrick., K.L. Macmillan., and K.W. Entwistle. 1995. Physiological effects of undernutrition on postpartum anoestrus in cows. *Journal Reproduction Fertility*. 49: 477-492.
- Jousan, F.D., L.A. de Castro e Paula., J. Block., and P.J. Hansen. 2007. Fertility of lactating dairy cows administered recombinant bovine somatotropin during heat stress. *Journal Dairy Science*. 90: 341-351.
- Kadokawa, H., M. Matsui., K. Hayashi., N. Matsunaga., C. Kawashima., T. Shimizu., K. Kida., and A. Miyamoto. 2008. Peripheral administration of kisspeptin-10 increases

- plasma concentrations of GH as well as LH in prepubertal Holstein heifers. *Endocrinology*. 196: 331-334.
- Kalbfleisch, D.J., and R.L Prentice. 2002. *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. 2nd edition. Ed. Wiley-Interscience a John Wiley & Sons. Inc., Publication. New Jersey, United States of America. 462 p.
- Karsch, F.J., J.M. Bowen., A. Caraty., N.P. Evans., S.M. Moenter. 1997. Gonadotropin-releasing hormone requirements for ovulation. *Biology of Reproduction*. 56: 303-309.
- Khalid, M., W. Harensing., and M.R. Luck. 2000. Secretion of IGF-I by ovine granulosa cells: effects of growth hormone and follicle stimulating hormone. *Animal Reproduction Science*. 58: 261- 272.
- Lassoued, N., M. Naouali., G. Khaldi., and M. Rekik. 2004. Influence of the permanent presence of rams on the resumption of sexual activity in postpartum Barbarine ewes. *Small Ruminant Research*. 54: 25-31.
- Lawless, F. J. 1987. Negative binomial and mixed Poisson regression. *The Canadian Journal of Statistics*. 15 (3): 209-225.
- Lehman, M.N., and F.J. Karsch. 1993. Do gonadotropin-releasing hormone, tyrosine hydroxylase-immunoreactive, and beta-endorphin-immunoreactive neurons contain estrogen receptors? A double-label immunocytochemical study in the Suffolk ewe. *Endocrinology*. 133: 887-895.
- Lenz, M.I., G.F. Ramírez., y L.F. Uribe. 2007. Papel del factor de crecimiento semejante a la insulina (IGF-1) en la regulación de la función ovárica. *Biosalud*. 6: 149-159.
- León, H.V., J. Hernández-Cerón., D.H. Keislert., 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 Animal Science*. 82: 445-451.
- Leshin, L.S., L. Rund A., R. Kraeling R., and T. Kiser E. 1991. The bovine preoptic area and median eminence: sites of opioid inhibition of luteinizing hormone-releasing hormone secretion. *Journal Animal Science*. 69: 3733-3746.
- Light, J.E., W.J. Silvia., and R.C. Reid. 1994. Luteolytic effect of prostaglandin F2 alpha and two metabolites in ewes. *Journal Animal Science*. 72: 2718-2721.
- Littell, R.C., P.R. Henry., and C.B. Ammeman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*. 76: 1216.
- López-Sebastián, A. 1991. Descarga preovulatoria de LH en ovejas con celo inducido mediante progestágenos y PMSG. *Investigación Agraria* 6: 123-131.
- López-Sebastián, A., y E.K. Inskeep. 1998. Effects of lactation status, progestogen and ram exposure on response to cloprostenol in ewes during anestrus season. *Theriogenology*. 30: 279-289.
- Lozano, J.M., F. Forcada., and J.A. Abecia. 1998. Opioidergic and nutritional involvement in the control of luteinizing hormone secretion of postpartum Rasa Aragonesa ewes lambing in the mid-breeding season. *Animal Reproduction Science*. 52: 267-277.
- Lucy, M.C. 2008. Functional Differences in the Growth Hormone and Insulin-like Growth Factor Axis. *Reproduction in Domestic Animals*. 43(2): 31-39.
- Lucy, M.C. 2000. Regulation of follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *Journal of Dairy Science*. 83: 1635-1647.
- Lujan, R. 2004. Bases moleculares de señalización neural. *Ciencia al Día Internacional*. 5(2): 3849.
- Mann, G.E., M.D. Fray., and G.E. Lamming. 2006. Effects of time of progesterone supplementation on embryo development and interferon production in the cow. *Journal the Veterinary*. 171: 500-503.

- Martin, G.B., J.T.B Milton., R.H. Davidson., G.E. Banchemo-Hunzicker., D.R. Lindsay., and D. Blache. 2004. Natural methods for increasing reproductive efficiency in small ruminants. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 231-246.
- Martin, G.B., C.M. Oldham., Y. Cognie., and T.D. Pearce. 1986. The physiological responses of anovulatory ewes to the introduction of rams—a review. *Livestock Production Science*. 15: 219-247.
- Martin, G.B., C.M. Oldham., and D.R. Lyndsay. 1980. Increased plasma LH levels in seasonally anovular Merino ewes following the introduction of rams. *Animal Reproduction Science*. 3: 125-132.
- Martínez, A.M., G. Gutiérrez., Y. Domínguez., y J. Hernández. 2011. Respuesta estral y tasa de preñez en cabras en anestro estacional tratadas con progestágenos y somatotropina bovina. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2(2): 221-227.
- Mateus, L., L. Lopez Da Costa., F. Bernardo., and J. Robalo Silva. 2002. Influence of puerperal uterine infection on uterine involution and postpartum ovarian activity in dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 37: 31-35.
- McGuire, M.A., J.L. Vicini., D.E. Bauman., and J.J. Veenhuizen. 1992. Insulin like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *Journal Animal Science*. 70: 2901-2910.
- McNeilly, A.S. 1997. Lactation and fertility. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 2: 291-298.
- Menchaca, A., V. Miller., V. Salveraglio., and E. Rubianes. 2007. Endocrine, luteal and follicular responses after the use of the Short-Term Protocol to synchronise ovulation in goats. *Animal Reproduction Science*. 102: 76-87.
- Menchaca, A and E. Rubianes. 2004. New treatments associated with timed artificial insemination in small ruminants. *Reproduction, Fertility, and Development*. 16: 404-4023.
- Méndez, R.H.Z. 2014. Somatotropina Bovina Recombinante (rbST) y su efecto en la inducción de la ovulación en ovejas Pelibuey amamantando. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México 60 p.
- Miller, D.W., J.L. Harrison., E.J. Bennett., P.A. Findlay., and C.L. Adam. 2007. Nutritional influences on reproductive neuroendocrine output: insulin, leptin, and orexigenic neuropeptide signaling in the ovine hypothalamus. *Endocrinology*. 148: 5313-5322.
- Montiel, C.M.I. 2014. “Efecto macho” en la ovulación postparto de ovejas Pelibuey amamantando. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 54 p.
- Morales, T.G. 2010. Estrategias de manejo del anestro postparto en ovejas Pelibuey. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 104 p.
- Morales-Terán, G., C.A. Herrera-Corredor, P. Pérez-Hernández, J. Salazar-Ortiz, and J. Gallegos-Sánchez. 2011. Influence of controlled suckling and the male effect on the resumption of postpartum ovarian activity in Pelibuey sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 493-500.
- Morales-Terán, G., A. Pro M., B. Figueroa S., C. Sánchez del R., y J. Gallegos S. 2004. Amamantamiento continuo o restringido y su relación con la duración del anestro postparto en ovejas Pelibuey. *Agrociencia* 38: 165-171.
- Moreira, F., L. Badinga., C. Burnley., and W.W. Thatcher. 2002. Bovine somatotropin increases embryonic development in superovulated cows and improves post-transfer pregnancy rates when given to lactating recipient cows. *Theriogenology*. 57(4): 1371-1387.

- Moreira, F., C. Orlandi., C.A. Risso., R. Mattos., F. Lopez., and W.W. Tacher. 2001. Effects of Presynchronization and Bovine Somatotropin on Pregnancy Rates to a Timed Artificial Insemination in Lactation Dairy cows. *Journal Dairy Science*. 84: 1646-1659.
- Murata, K., Y. Wakabayashi., K. Sakamoto., T. Tanaka., Y. Takeuchi., Y. Mori., and H. Okamura. 2011. Effects of Brief Exposure of Male pheromone on multiple-unit activity at close proximity to kisspeptin neurons in the goat arcuate nucleus. *Journal of Reproduction and Development*. 57(2): 197-202.
- Nancarrow, C.D. 1994. Embryonic mortality in the ewe and doe. In: M.T. Zavy, R.D. Geisert (Eds.) *Embryonic Mortality in Domestic Species*. CRC Press, Boca Raton, Florida. Pp. 79-97.
- Navarrete, S.L.F., A.A.C. Tamayo., E.I.G. Parra., R.E.P. Aguilar., J.R.S. García., V.T. López., y J.P.R. Ugalde. 2008. Efecto de la aplicación de la hormona de crecimiento recombinante (rbST) sobre la respuesta superovulatoria y la viabilidad embrionaria en ovejas de pelo. *Revista Científica*. 18(2): 175-179.
- Nett, T.M., D. Cermak., T. Braden., J. Manns., and G. Niswender. 1988. Pituitary receptors for GnRH and estradiol, and pituitary content of gonadotropins in beef cows. II. Changes during the postpartum period. *Domestic Animal Endocrinology*. 5: 81-89.
- Newton, G.R., K.K. Schillo and L.A. Edgerton. 1988. Effects of weaning and naloxone on luteinizing hormone secretion in postpartum ewes. *Biology of Reproduction*. 39: 532-535.
- Newton, J.E., J.E. Beets., and R. Wilde. 1980. The effect of body condition and time of mating on the reproductive performance of Masham ewes. *Animal Production*. 30:235-260.
- Norman, J.E., and I.T. Cameron. 1996. Nitric oxide in the human uterus. *Reviews of Reproduction*. 1: 61-68.
- O'Callaghan, D., and M.P. Boland. 1999. Nutritional effects on ovulation, embryo development and the establishment of pregnancy in ruminants. *Animal Science*. 68: 299-314.
- Oldham, C.M., and D.T. Pearce. 1983. Mechanism of the ram effect. *Proceedings of the Australian Society of Reproductive Biology*. 15: 72.
- Palma, G.A., M. Muller., and G. Brem. 1997. Effect of Insulin-like Growth Factor I at high Concentrations on Blastocyst Development of Bovine Embryos produced in Vitro. *Journal Reproduction Fertility*. 110: 347-353.
- Parvazi, N. 2000. Neuroendocrine regulation of gonadotropins in the male and the female. *Animal Reproduction Science*. 60-61: 31-47.
- Pearce, D.T., and C.M. Oldham. 1984. "Ram effect" in the breeding season. *Proceeding of the Australian Society of Animal Production*. 15: 49.
- Pearce, G.P., and C.M. Oldham. 1988. Importance of non-olfactory ram stimuli in mediating ram-induced ovulation in the ewe. *Journal Reproduction Fertility*. 84(1): 333-339.
- Peel, C.J., and D.E. Bauman. 1987. Somatotropin and lactation. *Journal Dairy Science*. 70: 474-486.
- Pérez, R. A. 1997. Regulación del eje somatotropo a largo plazo. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas. Madrid, España. Pp. 3-42.
- Pérez-Hernández, P., V.V.M. Hernández., S.B. Figueroa., H.G. Torres., R.P. Díaz., y J. Gallegos-Sánchez. 2009. Efecto del tipo de amamantamiento en la actividad ovárica postparto de ovejas Pelibuey y tasas de crecimiento de corderos en los primeros 90 días de edad. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 19(4): 343-349.

- Pershing, R.A., M.C. Lucy., W.W. Thatcher., and L. Badinga. 2002. Effects of BST on oviductal and uterine genes encoding components of the IGF system in lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 85: 3260-3267.
- Prado, I., W.G. Nascimento., J.A. Negro., L.P. Rigolon., S. De Souza., M.L. Doi Sakuno., and G.L. Pessini. 2003. Recombinant bovine somatotropin (rBST) on hematologic aspects and metabolites of heifers (1/2 Nellore x 1/2 Red Angus) blood, in feedlot. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32: 465-472.
- Price, E.O., D. Q. Estep., and S.J.R. Wallach. 1991. Sexual performance of rams as determined by maturation and sexual experience. *Journal Animal Science*. 69: 1047-1052.
- Ramírez, I.N.L. 2007. Somatotrofina, Somatotropina (STH) u Hormona de Crecimiento (GH) en animales domésticos. *Mundo Pecuário*. 3(2-3): 45-54.
- Ramos, M.A., S. González., T. de Castro., y R. Ungerfeld. 2005. Efecto macho: Herramienta que permite mayor desempeño reproductivo de la majada. *Revista del Plan Agropecuario*. 12: 25-28.
- Recabarren, S.E., H. Escobar., A. Lobos., M.P. Recabarren., and J. Parilo. 1996. Luteinizing hormone pulse frequency is increased by arginine infusion in prepubertal sheep. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes* 104: 72-77.
- Rekwot, P., D. Ogwy., E. Oyedipe and V. Sekoni. 2000. Effects of bull exposure and body growth on onset of puberty in Bunajii and Friesian x Bunajii heifers. *Reproduction, Nutrition, Development*. 40(4): 359-367.
- Relling, A.E y A. Mattioli G. 2002. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Ed. Universidad Nacional de La Plata-EDULP. 2a edición. Argentina. 72 p.
- Rhodes, F.M., S. McDougall., C.R. Burke., G.A. Verkerk., and K.L. Macmillan. 2003. Invited Review: Treatment of cows with an extended postpartum anestrous interval. *Journal Dairy Science*. 86: 1876-1894.
- Rivas, L. P.C., A.L. Suárez., y E. C. Ramírez. 2011. Influencia de las hormonas metabólicas y la nutrición en el desarrollo folicular en el ganado bovino: implicaciones prácticas. *Revista de Medicina Veterinaria*. 21: 155-173.
- Rivas-Muñoz, R., G. Fitz-Rodríguez., P. Poindron., B. Malpaux., J.A. Delgadillo. 2007. Stimulation of estrous behavior in grazing female goats by continuous or discontinuous exposure to males. *Journal Animal Science*. 85: 1257-1263.
- Robinson, J.J., J.A. Rooke., and T.G. McEvory. 2002. Nutrition for conception and pregnancy. In: *Sheep Nutrition*, CABI Publishing, Wallingford, U.K. Pp. 189-211.
- Rodríguez, V.L. 2005. Efecto de la aplicación de la somatotropina bovina recombinante (bST) sobre la fertilidad en ovejas de raza Pelibuey. Tesis de Licenciatura. U.A.N. Compostela, Nayarit.
- Ruiz, E.A.Z. y R. Kittok. 2008. Detección de la subunidad NMDAR-1 del receptor N-Metil-D-Aspartato (NMDAR) en el hipotálamo del ovino mediante el análisis de Western Blot. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 18 (2): 148-153.
- Russel, A.J.F., J.M. Doney., and R.G. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 72: 451-454.
- Sallam, S.M.A., M.E. A Nasser., and M.I. Yousef. 2005. Effect of recombinant bovine somatotropin on sheep milk production, composition and some hemato-biochemical components. *Small Ruminant Reserch*. 56: 165-171.
- Salloum, B. A., and R. Claus. 2005. Interaction between lactation, photoperiodism and male effect in German Merino ewes. *Theriogenology* 63: 2181-2193.
- SAS, Institute (Business Analytics software). 2002. SAS/STAT® 9.9 user's guide. SAS Institute Cary, North Carolina.

- Schillo, K.K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *Journal Animal Science*. 70: 1271-1282.
- Schirar, A., Y. Cognié., F. Louault., N. Poulin., C. Meusnier., M.C. Levasseur., and J. Martinet. 1990. Resumption of gonadotrophin release during the post-partum period in suckling and non-suckling ewes. *Journal Reproduction Fertility*. 88: 593-604.
- Schirar, A., Y. Cognié., F. Louault., N. Poulin., M.C. Levasseur., and J. Martinet. 1989. Resumption of oestrus behaviour and cyclic ovarian activity in suckling and non-suckling ewes. *Journal Reproduction Fertility*. 87: 789-794.
- Schulze, E., and E. Steiger. 1886. Ueber das Arginin. *Zeitschrift für Physiologische Chemie (Strassb.)* 11: 43-65.
- Short, R.E., R.A. Bellow., R.B. Staigmiller., J.G. Berardinelli., and E.E. Custer. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and fertility in postpartum beef cattle. *Journal Animal Science*. 68: 799-816.
- Signoret, J.P., W.J. Fulkerson., and D.R. Lindsay. 1982. Effectiveness of testosterone-treated wethers and ewes as teasers. *Applied Animal Ethology*. 9: 37-45.
- Simonian, S.X., B. Delaleu., A. Caraty., A.E. Herbison.1998. Estrogen receptor expression in brainstem noradrenergic neurons of the sheep. *Neuroendocrinology*. 67(6): 392-402.
- Sinclair, K.D., D.G. Revilla., J.F. Roche., G. Quintans., A. Sanz., D.R. Mackey., D. and G.M. Diskin. 2002. Ovulation of the first dominant follicle arising after day 21 postpartum in suckling beef cows. *Animal Science*: 75: 115-126.
- Sirotkin, A.V. and A.V. Makarevich. 1999. GH regulates secretory activity and apoptosis in cultured bovine granulosa cells through the activation of the cAMP/ protein kinase A system. *Endocrinology*. 163: 317-327.
- Sosa, C., J.A. Abecia., I. Palacín., F. Forcada., y A. Meikle. 2006. El reinicio de la ciclicidad ovárica postparto en ovejas está determinado por la condición corporal al parto. XXXI Jornadas Científicas de Reproducción. Zamora, España. SEOC. Pp. 362-365.
- Sosa-Pérez, G., P. Pérez-Hernández., H. Vaquera-Huerta., J. Salazar-Ortiz., C. Sánchez-del-Real., S. Cadena-Villegas., y J. Gallegos-Sánchez. 2014. Somatotropina bovina recombinante en sincronización de estros y prolificidad de ovejas Pelibuey. *Archivos de Zootecnia*. 63(241): 219-222.
- Spencer, T.E., R.C. Burghardt., G.A. Johnson., and F.W. Bazer. 2004. Conceptus signal for establishment and maintenance of pregnancy. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 537-550.
- Squires, E.J. 2001. *Applied Animal Endocrinology*. CABI Publishing. USA. 234 p.
- Suzuki, S., H. Kadokawa., and T. Hashizume. 2008. Direct kisspeptin-10 stimulation on luteinizing hormone secretion from bovine and porcine anterior pituitary cells. *Animal Reproduction Science*. 30(103): 360-365.
- Taylor, J.A., M.L. Goubillon., K.D. Broad., and J.E. Robinson. 2007. Steroid control of gonadotropin-releasing hormone secretion: associated changes in pro-opiomelanocortin and preproenkephalin messenger RNA expression in the ovine hypothalamus. *Biology of Reproduction*. 76: 524-531.
- Trejo, T.N. 2000. Suplementación antes del servicio y tasa de ovulación en ovejas criollas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. Pp. 4-74.
- Trojan, J., J.F. Cloix., M.Y. Ardourel., M. Chatel., and D.D. Anthony. 2007. Insulin-like growth factor type I biology and targeting in malignant gliomas. *Neuroscience*. 30(145): 795-811.

- Ungerfeld, R., M.A. Ramos., and S.P. González-Pensado. 2008. Ram effect: adult rams induce a greater reproductive response in anestrus ewes than yearling rams. *Animal Reproduction Science*. 103: 271-277.
- Ungerfeld, R. and E. Rubianes. 2002. Short term primings with different progestogen intravaginal devices (MAP, FGA and CIDR) for eCG-estrous induction in anestrus ewes. *Small Ruminant Reserch*. 46: 63-66.
- Valencia, J., C. Barrón., S. Fernández-Baca., N. Huerta., y A. Ortiz. 1980. Presentación de estros en ovejas criollas a lo largo del año. *Veterinaria México*. 11: 71-74.
- Valera, M.A., C.A. Ramos., y J.A. Delgadillo S. 2009. Eficiencia de la inexperiencia sexual de los machos cabríos para estimular la actividad estral en cabras anéstricas mediante el efecto macho. *Revista Agraria- Nueva época*. 6(1, 2, 3): 31-34.
- Vergara, H.H.P. 2013. Suplementación con Glutamato y función reproductiva en cabras primíparas durante el periodo de transición al anestro estacional. Tesis de maestría. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. Pp. 34-36.
- Viñoles, C. 2003. Effect of nutrition on follicle development and ovulation rate in the ewe. Tesis PhD. Veterinary Medicine. Uppsala, Sweeden. Swedish University of Agricultural Sciences. 56 p.
- Viñoles, C., G. Banchemo., G. Quintans., R. Pérez-Clariget., P. Sosa., R. Ungerfeld., A. Bielli., D. Fernández-Abella., D. Formoso., M. Pereira-Machín., y A. Meikle. 2009. Estado actual de la investigación vinculada a la Producción Animal Limpia, Verde y Ética en Uruguay. *Agrociencia*. 13(3): 59-79.
- Viñoles, C., M. Forsberg., G. Banchemo., and E. Rubianes. 2001. Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. *Theriogenology*. 55(4): 993-1004.
- Walkden-Brown, S.W., G.B. Martin., and B.J. Restall. 1999. Role of male-female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*. 52: 243-257.
- Walkden-Brown, S.W., B.J. Restall., and Henniawati. 1993. The male effect in the Australian Cashmere goat. 3. Enhancement with buck nutrition and use of oestrus females. *Animal Reproduction Science*. 32: 69-84.
- Weems, C.W., Y.S. Weems., and R.D. Randel. 2006. Prostaglandins and reproduction in female farm animals. *Journal the Veterinary*. 171(2): 206-28.
- Werner, H., D. Weinstein., I. Bentov. 2008. Similarities and differences between insulin and IGF-I: structures, receptors, and signalling pathways. *Archives of Physiology and Biochemistry*. 114: 17-22.
- Williams, G.L., and M.K. Griffith. 1995. Sensory and behavioural control of gonadotrophin secretion during suckling-mediated anovulation in cows. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*. 49: 463-475.
- Xu, J., M.A. Kirigiti., M.A. Cowley., K.L. Grove., and M.S. Smith. 2009. Suppression of basal spontaneous gonadotropin-releasing hormone neuronal activity during lactation: role of inhibitory effects of neuropeptide Y. *Endocrinology*. 150: 333-340.
- Yavas, Y., and J.S. Walton. 2000. Postpartum acyclicity in suckled beef cows: a review. *Theriogenology*. 54: 25-55.
- Zhang, Y., R. Proenca., M. Maffei., M. Barone., L. Leopold., and J.M. Friedman. 1994. Positional cloning of the mouse obese gene and its human homologue. *Nature*. 372: 425-432.
- Zoller, W.G., H.A. Garverick., M.F. Smith., R.J. Moffatt., B.E. Salfen., and R.S. Youngquist. 1993. Concentrations of progesterone and oxytocin receptors in endometrium of postpartum cows expected to have a short or normal oestrous cycle. *Journal of Reproduction and Fertility*. 97: 329-337.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Cambios de peso corporal (kg) en ovejas de pelo durante el postparto sometidas a efecto macho y un reconstituyente metabólico (Metabolice®).

Tratamiento ^o	n	Días postparto									
		Parto	9	18	27	36	45	54	63	72	81
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	57.9 ^{ab}	58.9 ^a	59.0 ^a	57.8 ^{ab}	57.4 ^{ab}	56.3 ^b	57.2 ^{ab}	57.2 ^{ab}	58.1 ^{ab}	58.6 ^{ab}
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	29	56.8 ^b	58.3 ^{ab}	59.3 ^a	59.1 ^a	57.9 ^{ab}	56.6 ^b	56.5 ^b	56.7 ^b	57.8 ^{ab}	58.0 ^{ab}
T3: AC+Efecto macho (EM)	32	57.5 ^a	58.2 ^a	58.1 ^a	58.3 ^a	57.7 ^a	57.1 ^a	57.5 ^a	57.7 ^a	58.3 ^a	58.6 ^{ab}
T4: AC+R+EM	30	61.3 ^{bcd}	63.0 ^{ab}	63.0 ^{ab}	62.5 ^{abc}	60.8 ^d	60.1 ^{bcd}	59.8 ^d	59.2 ^d	60.2 ^{cd}	60.8 ^{bcd}

a, b, c, d. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

^o No hubo diferencias entre tratamientos por lo que no aparecen las letras W, X, Y, y Z dentro de cada columna.

Anexo 2. Cambios de peso corporal (kg) en corderos durante los primeros 81 días de edad.

Tratamiento ^o	n	Días postparto									
		Parto	9	18	27	36	45	54	63	72	81
T1: Amamantamiento continuo (AC)	52	3.2 ^a	5.4 ^b	6.4 ^c	7.5 ^d	8.6 ^e	11.1 ^f	13.6 ^g	15.6 ^h	16.5 ⁱ	17.6 ^j
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	52	3.2 ^a	5.4 ^b	6.6 ^c	7.6 ^d	9.0 ^e	11.4 ^f	13.2 ^g	15.0 ^h	15.6 ⁱ	16.8 ^j
T3: AC+Efecto macho (EM)	58	3.3 ^a	5.5 ^b	6.4 ^c	7.2 ^d	8.5 ^e	10.8 ^f	12.6 ^g	14.3 ^h	14.4 ^h	15.9 ⁱ
T4: AC+R+EM	55	3.5 ^a	5.9 ^b	6.7 ^c	7.8 ^d	9.2 ^e	11.8 ^f	13.3 ^g	14.8 ^h	15.3 ⁱ	16.7 ^j

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

^o No hubo diferencias entre tratamientos por lo que no aparecen las letras W, X, Y, y Z dentro de cada columna.

Anexo 3. Cambios de peso corporal postparto (kg) en ovejas de pelo sometidas a un reconstituyente metabólico (Metabolice®) y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	n	Días postparto							
		Parto	9	18	27	36	45	54	63
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	57.9 ^{ab_X}	58.9 ^{a_X}	59.0 ^{a_X}	57.8 ^{ab_X}	57.4 ^{ab_X}	56.3 ^{b_X}	57.2 ^{ab_X}	57.2 ^{ab_X}
T2: AC+ Reconstituyente metabólico (R)	29	56.8 ^{b_X}	58.3 ^{ab_X}	59.3 ^{a_X}	59.1 ^{a_X}	57.9 ^{ab_{XY}}	56.6 ^{b_{XY}}	56.5 ^{b_{XY}}	56.7 ^{b_{XY}}
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	17	54.8 ^{a_X}	56.4 ^{a_X}	55.3 ^{a_X}	51.5 ^{b_Y}	52.0 ^{b_Y}	50.8 ^{b_Y}	51.5 ^{b_Y}	52.1 ^{b_Y}
T4: AC+R+rBST	19	60.1 ^{a_X}	60.9 ^{a_X}	58.7 ^{ab_X}	58.2 ^{ab_X}	57.9 ^{ab_{XY}}	57.1 ^{ab_X}	55.7 ^{b_{XY}}	55.6 ^{b_{XY}}

a, b. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

X, Y. Medias con distinta literal dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Anexo 4. Cambios de peso corporal (kg) en corderos durante los primeros 63 días de edad.

Tratamiento	n	Días postparto							
		Parto	9	18	27	36	45	54	63
T1: Amamantamiento continuo (AC)	52	3.2 ^{a_X}	5.4 ^{b_{XY}}	6.4 ^{c_{XY}}	7.5 ^{d_X}	8.6 ^{e_X}	11.1 ^{f_X}	13.6 ^{g_X}	15.6 ^{h_{XY}}
T2: AC+Reconstituyente metabólico (R)	52	3.2 ^{a_X}	5.4 ^{b_{XY}}	6.6 ^{c_{XY}}	7.6 ^{d_X}	9.0 ^{e_{XY}}	11.4 ^{f_{XY}}	13.2 ^{g_X}	15.0 ^{h_X}
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	31	3.5 ^{a_X}	6.5 ^{b_X}	7.5 ^{c_{XY}}	8.4 ^{d_X}	9.9 ^{e_Y}	12.3 ^{f_Y}	14.3 ^{g_X}	16.5 ^{h_Y}
T4: AC+R+rBST	38	3.6 ^{a_X}	4.9 ^{b_Y}	6.2 ^{c_{XY}}	7.6 ^{d_X}	9.5 ^{e_{XY}}	12.9 ^{f_Y}	14.4 ^{g_X}	16.0 ^{h_{XY}}

a, b, c, d, f, g, h. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

X, Y. Medias con distinta literal dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Anexo 5. Cambios de peso corporal postparto (kg) en ovejas de pelo sometidas a efecto macho y somatotropina bovina recombinante (rBST; Boostin-S®).

Tratamiento	n	Días postparto							
		Parto	9	18	27	36	45	54	63
T1: Amamantamiento continuo (AC)	29	57.9 ^{ab} _X	58.9 ^a _X	59.0 ^a _X	57.8 ^{ab} _X	57.4 ^{ab} _X	56.3 ^b _X	57.2 ^{ab} _X	57.2 ^{ab} _X
T2: AC+Efecto macho (EM)	32	57.5 ^a _X	58.2 ^a _X	58.1 ^a _X	58.3 ^a _X	57.7 ^a _X	57.1 ^a _X	57.5 ^a _X	57.7 ^a _X
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	17	54.8 ^a _X	56.4 ^a _X	55.3 ^a _X	51.5 ^b _Y	52.0 ^b _Y	50.8 ^b _Y	51.5 ^b _Y	52.1 ^b _Y
T4: AC+EM+rBST	19	57.2 ^b _X	59.6 ^a _X	59.0 ^{ab} _X	56.5 ^{bc} _{XY}	56.6 ^{bc} _{XY}	55.8 ^{bc} _{XY}	55.9 ^{bc} _{XY}	56.2 ^{bc} _{XY}

a, b, c. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

X, Y. Medias con distinta literal dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).

Anexo 6. Cambios de peso corporal (kg) en corderos durante los primeros 63 días de edad.

Tratamiento	n	Días postparto								
		Parto	9	18	27	36	45	54	63	
T1: Amamantamiento continuo (AC)	52	3.2 ^a _X	5.4 ^b _{XY}	6.4 ^c _{XY}	7.5 ^d _X	8.6 ^e _X	11.1 ^f _X	13.6 ^g _{XY}	15.5 ^h _{XY}	
T2: AC+Efecto macho (EM)	58	3.3 ^a _X	5.5 ^b _{XY}	6.4 ^c _{XY}	7.2 ^d _X	8.5 ^e _X	10.8 ^f _X	12.6 ^g _X	14.3 ^h _Y	
T3: AC+Somatotropina bovina recombinante (rBST)	31	3.5 ^a _X	6.5 ^b _X	7.5 ^c _X	8.4 ^d _X	9.9 ^e _Y	12.3 ^f _Y	14.3 ^g _Y	16.5 ^h _X	
T4: AC+EM+rBST	36	3.3 ^a _X	4.6 ^b _Y	5.8 ^c _Y	7.5 ^d _X	9.8 ^e _{XY}	12.5 ^f _Y	14.1 ^g _Y	16.0 ^h _{XY}	

a, b, c, d, f, g, h. Medias con distinta literal dentro de cada fila indica diferencia ($p \leq 0.05$).

X, Y. Medias con distinta literal dentro de cada columna indica diferencia ($p \leq 0.05$).