



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

IGF-I Y ACTIVIDAD OVÁRICA EN LA
FASE FOLICULAR TARDÍA DE CABRAS SUPLEMENTADAS
CON PROTEÍNA NO DEGRADABLE EN RUMEN
EN DIFERENTE CONDICIÓN CORPORAL

MINERVA GUERRA GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES. A MIS HERMANOS. A MIS TÍOS.

Por el apoyo, comprensión y consejos que siempre me brindaron.

AL Dr. CÉSAR ALBERTO MEZA HERRERA.

Por ser ejemplo en el campo de la investigación, por su invaluable ayuda siempre presente en todas situaciones, por su amistad, consejos, buen humor y por su gran corazón.

A LA Dra Ma. TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA.

Por la oportunidad de aprender a su lado, por la amistad que me brindó, por la confianza depositada en mi persona y por su ayuda para la elaboración de la presente.

A CONACYT.

Por el apoyo brindado con la beca que hizo posible sostener mis estudios.

AL COLEGIO DE POSTGRADUADOS Y A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

Por la oportunidad de aprender y crecer como profesional.

A TODOS LOS PROFESORES QUE TUVE LA OPORTUNIDAD DE CONOCER Y APRENDER DE ELLOS.

Por cada día que han dedicado a la enseñanza.

A TODOS ELLOS, MUCHAS, MUCHAS GRACIAS !

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Margarita García Sobreyra y Dagoberto Guerra Reyes.

A MIS HERMANOS: Tania y Dagoberto.

A MIS SOBRINITOS: Jazmín y Emmanuel.

A MIS ABUELITOS: María Sobreyra Mejía † y Manuel García Nieves †;

Elodia Reyes Lira † y Alfonso Guerra Flores †;

María Macías Barrón † y José Ríos Cordero †.

PARA ELLOS SIEMPRE, CON TODO MI CORAZÓN.

... ¿Te ayudo, manito?, le pregunto.

- ¿A qué?, me responde con mirada dulce y firme.

Silencio. Subimos juntos.

Ese niño y yo seremos polvo, pero en lo que llega el polvo, no habrá
rampa que nos detenga ni tarea humana que no nos concierna.

GERMÁN DEHESA

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iii
RESUMEN	v
SUMMARY	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Nutrición	3
2.1.1. Suplementación con proteína.....	3
2.1.2. Digestión de proteína.....	4
2.1.3. Proteína No Degradable en Rumen.....	6
2.1.4. Respuesta metabólica al consumo de proteína.....	8
2.2. Reproducción	9
2.2.1. Fisiología del ovario.....	9
2.2.2. Foliculogénesis.....	12
2.2.3. Desarrollo de folículos antrales o de Graaf.....	13
2.2.4. Atresia.....	14
2.2.5. Control hormonal de la función folicular.....	15
2.2.6. Ultrasonografía transrectal en el manejo del ganado.....	16
2.3. Interacción Nutrición-Reproducción	17
2.3.1. Señales del estado nutricional al sistema reproductivo.....	18
2.3.2. Respuesta de la fisiología reproductiva al consumo de proteína.....	19
2.3.3. Interacciones entre peso-condición corporal y reproducción.....	20
2.3.4. Factor de crecimiento similar a insulina tipo I.....	21
2.3.5. IGF-I en el ovario.....	23
2.3.6. Interacciones nutrición-factores de crecimiento similares a insulina-reproducción.....	23
2.3.7. Consumo de proteína y niveles séricos de IGF's.....	25
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	26

IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1.	Localización del área experimental y condiciones ambientales	27
4.2.	Formación de grupos experimentales	27
4.3.	Diseño de tratamientos	29
4.4.	Sincronización del estro	30
4.5.	Muestreo sanguíneo	31
4.6.	Cuantificación de IGF-1 mediante radioinmunoanálisis	31
4.7.	Análisis ultrasonográfico de la actividad ovárica	31
4.8.	Variables	32
A)	Variables colectadas.....	32
B)	Variables generadas.....	32
4.9.	Análisis estadístico	33
4.9.1.	Modelos estadísticos.....	33
V.	RESULTADOS	35
5.1.	Condición Corporal	35
5.2.	Proteína No Degradable en Rumen	36
VI.	DISCUSIÓN	39
6.1.	Condición Corporal	39
6.2.	Proteína No Degradable en Rumen	40
VII.	CONCLUSIONES	44
VIII.	LITERATURA CITADA	45
VIII.	ANEXOS	54

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pág.
Tabla 1	iv
Cuadro 1	28
Cuadro 2	28
Cuadro 3	29
Cuadro 4	36
Cuadro 5	37
Apéndice 1	54
Apéndice 2	55
Apéndice 3	56

TABLA 1. SIGLAS UTILIZADAS EN ESTA TESIS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO EN ESPAÑOL	SIGNIFICADO EN INGLÉS
AOT-1	Actividad Ovárica Total-1	Total Ovarian Activity-1
AOT-2	Actividad Ovárica Total-2	Total Ovarian Activity-2
CCC	Calificación de la Condición Corporal	Qualified Body Condition
CL	Cuerpo Lúteo	Corpus Luteum
CLT	Cuerpos Lúteos Totales	Total Corpora Lutea
BP	Proteína Sobrepasante	Bypass Protein
DNA	Ácido Desoxiribonucleico	DeoxyriboNucleic Acid
E₂	Estrógeno	Estrogen
ET	Estructuras Totales	Total Structures
FA	Folículos Antrales	Antral Follicles
FSH	Hormona Folículo Estimulante	Stimulating Follicle Hormone
FT	Folículos Totales	Total Follicles
g	Gramos	Grams
GnRH	Hormona Liberadora de Gonadotropinas	Gonadotropin Releasing Hormone
GH	Hormona del Crecimiento	Growth Hormone
ID	Clave de Identificación	Key of Identification
IGF's	Factores de Crecimiento Similares a Insulina	Insulin Like Growth Factors
IGF-I	Factor de Crecimiento Similar a Insulina Tipo I	Insulin Like Growth Factor Type I
IGF-II	Factor de Crecimiento Similar a Insulina Tipo II	Insulin Like Growth Factor Type II
IGFBP's	Proteínas Enlazadoras de los Factores de Crecimiento Similares a Insulina	IGF-Bindings Protein
IGFBP-I	Proteína Enlazadora del Factor de Crecimiento Similar a Insulina Tipo I	IGF-Bindings Protein-I
INS	Insulina	Insulin
kg	Kilogramo	Kilogram
mL	Mililitros	Milliliter
mm	Milímetros	Millimeter
NP	Nivel de Proteína	Protein Level
P₄	Progesterona	Progesterone
PGF_{2α}	Prostaglandina	Prostaglandin
PNDR	Proteína No Degradable en Rumen	Bypass Protein
PV	Peso Vivo	Body Weight
TO	Tasa Ovulatoria	Ovulation Rate
VOT	Volumen Ovárico Total	Volume

RESUMEN

La influencia de la nutrición en la función ovárica se clasifica como “efecto estático”, “efecto dinámico” (Meza-Herrera *et al.*, 2004) y “efecto agudo” (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Dichos efectos son mediados por cambios en los niveles de hormonas metabólicas y de la superfamilia de factores de crecimiento (Meza-Herrera *et al.*, 2006), pero su importancia relativa y rutas de acción necesitan ser dilucidados (Martin *et al.*, 2004). Se utilizaron 32 cabras de 19 meses de edad, F1 (AlpinoxNubia), sometidas a un periodo de adaptación de 40 días, registrando los pesos corporales y la condición corporal (Russel *et al.*, 1969), al inicio y cada quince días en ayunas. A partir del día 40, la dieta consistió de heno de alfalfa molido y dos niveles de suplementación de proteína no degradable en rumen (PNDR), ofreciendo 70% y 100% de los requerimientos nutricionales (NRC, 1981); se consideraron dos niveles de condición corporal: bajo (BCC) y alto (ACC) para el experimento, abarcando 40 días antes y 15 días después de la ovulación. Se sincronizó con Cloprostenol sódico en dos aplicaciones, transcurridas 24 horas de la segunda aplicación, se seleccionaron aleatoriamente cuatro cabras por tratamiento, realizando dos muestreos sanguíneos, el primero al tiempo cero y el segundo 6 horas después, colectando 32 muestras en las que se determinó IGF-I mediante RIA. La actividad ovárica se evaluó por ultrasonografía, identificando número, tamaño y tipo de estructuras ováricas presentes. Se encontró que suplementar con PNDR, ejerció un efecto positivo en persistencia de Cuerpos Lúteos Totales (CLT), Actividad Ovárica Total-1 (AOT-1 = CLT+FT), Actividad Ovárica Total-2 (AOT-2 = CLT+FA) y Folículos Totales (FT) entre tratamientos, observando correlación positiva entre concentración de IGF-I y nivel de PNDR. Respecto a CC, se observó respuesta mayor en ACC para Volumen Ovárico Total (VOT), FA (Folículos Antrales), CLT, AOT-1, AOT-2 e IGF-I. Suplementar cabras adultas con PNDR y mantenerlas en buena CC previo al empadre, mejora la respuesta en actividad ovárica y establecimiento del cuerpo lúteo, por un incremento en los niveles de IGF-I, quien podría actuar de manera sinérgica con gonadotropinas y metabolitos, mejorando la eficiencia en la actividad fisiológica del ovario, en cabras localizadas a 25° LN.

Plabras clave: actividad ovárica, cabras, condición corporal, IGF-I, proteína no degradable en rumen.

SUMMARY

The influence of nutrition on the ovarian function is classified as "static effect", "dynamic effect" (Meza-Herrera *et al.*, 2004) and "acute effect" (Scaramuzzi *et al.*, 2006). These effects are mediated by changes in the levels of metabolic hormones and in the super-family of growth factors (Meza-Herrera *et al.*, 2006), but their relative importance and action routes need to be elucidated (Martin *et al.*, 2004). Thirty-two 19-month old goats were used, F1 (AlpinoxNubia), and subject to a 40 day adaptation period, keeping a registry of body weight and body conditions (Russel *et al.*, 1969), at the beginning and every fifteen days, before feeding. Starting on day 40, the diet consisted on ground alfalfa hay and two levels of non-degradable protein supplements in rumen (PNDR), offering 70% and 100% of the nutritional requirements (NRC, 1981). For the experiment, two levels of body condition were considered: low (BCC) and high (ACC), from 40 days before to 15 after ovulation. This was synchronized with Sodium Cloprostenol in two applications. After 24 hours of the second application, four goats were randomly selected from each treatment, and two blood samples were taken, the first at time zero, and the second six hours later, thus collecting 32 samples where IGF-I was determined through RIA. The ovarian activity was evaluated by ultrasonograph, identifying number, size and type of ovarian structures present. It was found that PNDR supplementing had a positive effect on the persistence of Total Luteous Bodies (CLT), Total Ovaric Activity-1 (AOT-1 = CLT+FT), Total Ovaric Activity-2 (AOT-2 = CLT+FA), and Total Follicles (FT) among treatments, showing a positive correlation between the concentration of IGF-I and the level of PNDR. With regard to CC, a greater response was observed in ACC for Total Ovaric Volume (VOT), FA (Antral Follicles), CLT, AOT-1, AOT-2 and IGF-I. Supplementing adult goats with PNDR and keeping them in good CC previous to parenting improves the response of the ovarian activity and establishment of the luteous body through an increase in the levels of IGF-I, which could act synergetically with gonadotropines and metabolites, improving efficiency in the physiological activity of the ovary in goats located at 25°NL.

Key words: ovaric activity, goats, body condition, IGF-I, non-degradable protein in rumen.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, el 95 % de la producción de cabras se encuentra concentrada principalmente en áreas subdesarrolladas de diversos países y básicamente se trata de una especie que se utiliza como un medio de subsistencia o un seguro para tiempos difíciles (Serradilla, 2001). Sin embargo, algunos países como España, Francia, y Canadá, han logrado convertir la producción caprina en una actividad rentable (Devendra, 1981).

En México, quizá por tratarse de una especie con una función socioeconómica ligada históricamente a la población de escasos recursos, la producción de ganado caprino no ha mostrado la misma dinámica de crecimiento que otras especies. La actividad caprina se desarrolla principalmente en sistemas de traspatio que se enfocan a la producción de cabritos y leche, para la elaboración de quesos, yogurt, crema, dulces y venta directa al consumidor a pequeña escala o a empresas industriales, mientras que en algunos casos el objetivo es la cría de reproductores (Ocampo, 2005).

A nivel nacional, la producción caprina se desarrolla en áreas que abarcan una enorme variedad de climas y condiciones ambientales. En general, su producción se caracteriza por llevarse a cabo en regiones áridas, semiáridas, de trópico seco y subtropicales. Sin embargo, un común denominador que se observa en la caprinocultura nacional es su desarrollo en sistemas de producción marginales tanto desde el punto de vista biótico, económico, como social, en donde la presencia de restricciones nutricionales del ganado tiende a ser un escenario común.

Varios autores han reportado que el nivel nutricional afecta la función reproductiva de los rumiantes, particularmente a través de cambios en el peso vivo y la condición corporal, afectando procesos involucrados en el desarrollo folicular y la tasa ovulatoria (Downing y Scaramuzzi, 1991; Meza-Herrera *et al.*, 2004; Scaramuzzi *et al.*, 2006). Las influencias de la nutrición sobre la función ovárica, cuyo principal modelo animal ha sido desarrollado en ovinos, pueden ser clasificadas como de largo plazo o “efecto estático” en el cual, hembras con mayores pesos vivos lograrán mayores tasas ovulatorias, de mediano plazo o “efecto dinámico”, en el cual

incrementos en el peso vivo o condición corporal en semanas previas y durante el empadre promoverán una mayor eficiencia ovárica (Meza-Herrera *et al.*, 2004), y de corto plazo o “efecto agudo”, en el cual, una suplementación estratégica o dirigida ya sea de proteína o energía puede afectar positivamente la función reproductiva sin cambios aparentes en el peso vivo o la condición corporal (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Al respecto, se ha propuesto una clara evidencia de que dichos efectos nutricionales son mediados por cambios en los niveles de hormonas metabólicas y de la superfamilia de factores de crecimiento (Meza-Herrera *et al.*, 2004; Meza-Herrera *et al.*, 2006). En efecto, las concentraciones séricas de la hormona del crecimiento (GH) fluctúan en respuesta al estado nutricional sugiriendo que la GH además de afectar la composición corporal puede deprimir la síntesis y secreción de gonadotropinas (FSH y LH), comprometiendo, en turno, la eficiencia reproductiva (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Sin embargo, la importancia relativa y las rutas de acción de dichos efectos que la nutrición ejerce sobre el comportamiento reproductivo necesitan ser dilucidados (Martin *et al.*, 2004).

Mientras que deficiencias nutricionales y reproductivas han sido relacionadas a escenarios con valores aumentados de GH, hipoinsulinemia e hipoglicemia, valores adecuados de insulina además de mantener una normoglicemia, estimulan la secreción de FSH, la pulsatilidad de LH y la secreción lútea de progesterona. Cambios en los niveles de insulina nutricionalmente inducidos han sido positivamente relacionados a incrementos en los niveles de los factores de crecimiento similares a insulina tipo 1 y 2 (IGF-I y IGF-II), observando una incrementada habilidad esteroideogénica en los folículos ováricos cuando las concentraciones de IGF-I están aumentadas (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

El presente trabajo pretende estudiar la relación entre la mayor disponibilidad en intestino delgado de proteína no degradable en rumen (PNDR), con una mayor disponibilidad de IGF-I en plasma sanguíneo, lo cual, favorecería una mayor tasa ovulatoria a través de incrementar la actividad esteroideogénica y el desarrollo de folículos antrales, por el efecto co-gonadotrópico y de crecimiento folicular que ejerce IGF-I a nivel de estructuras ováricas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. NUTRICIÓN

El ganado caprino requiere para su mantenimiento, producción y reproducción, de diversos nutrientes que se pueden agrupar en términos generales, en energía, proteína ó sus variantes nitrogenadas para el caso de los rumiantes, minerales, vitaminas y agua. Cuantitativamente, el requerimiento de agua es el mayor, ya que una cabra consume en promedio de tres a cuatro litros de agua, por kg de materia seca consumida y en el caso de ganado lechero, esta cantidad suele ser mayor (Roig, 2003). Después, se encuentran los requerimientos de energía y proteína, en los que lo ideal es realizar evaluaciones del alimento disponible para efectuar los ajustes correspondientes, teniendo en cuenta que normalmente la producción de ganado caprino se lleva a cabo bajo condiciones de pastoreo extensivo, en donde el problema más frecuente suele ser la deficiencia energético-proteica. Finalmente las vitaminas y minerales que se requieren en cantidades pequeñas (FAO, 1987).

En las empresas dedicadas a la producción de ganado, la alimentación es el principal recurso limitante, lo cual genera una constante presión económica para tratar de reducir la cantidad de alimentos utilizada pero garantizando la obtención del mayor beneficio posible. Para lograr lo anterior, durante muchos años se ha utilizado el manejo táctico de la suplementación alimenticia, enfocándose en la composición, duración y momento de aplicación de la misma (Martin, 2005).

2.1.1. Suplementación con proteína

Las proteínas son compuestos vitales que se requieren para el crecimiento, producción de carne, leche, piel, cuero, etc., resistencia a las enfermedades, reproducción y mantenimiento en general (Singh y Mudgal, 1978). Es difícil que en el cuerpo del animal exista un exceso de proteína, debido a que los excedentes son eliminados a través del riñón y el resto es quemado como energía. Por esta razón, cuando existen deficiencias proteínicas en la dieta de los animales, disminuyen las

reservas en sangre, hígado y músculo, por lo que, el animal es predispuesto a sufrir una serie de trastornos y enfermedades que lo pueden conducir a la muerte. La deficiencia de proteína por un tiempo prolongado, retarda el desarrollo fetal, baja el peso al nacimiento de los cabritos y los índices de sobre-vivencia, reduce el crecimiento y deprime la producción de leche (Sengar, 1980; Walli, 2005).

Cuando la dieta contiene menos del 6% de proteína cruda, el consumo de alimento se reduce y se presenta una deficiencia combinada de proteína y energía, se reduce la función del rumen y la eficiencia en la utilización de los alimentos (Platt *et al.*, 1964). El efecto de la suplementación con proteína, depende de la fuente proteica y de la composición de los ingredientes del suplemento.

Este efecto, también está influido por la composición química del forraje o dieta consumida (Minson 1990). Los suplementos elaborados a base de fuentes de nitrógeno no proteico, son menos efectivos que aquellos formulados a base de ingredientes que contienen nitrógeno proteico (Clanton, 1978). El efecto de la suplementación con proteína sobre digestibilidad de la dieta, consumo de alimento y comportamiento de los animales varía, ya que depende de diversos factores genéticos, de la dieta y ambientales, por lo cual, puede manifestarse una mejora, decremento o falta de respuesta (Sansón, 1993).

2.1.2. Digestión de la Proteína

Las proteínas al ser digeridas producen aminoácidos y péptidos que se absorben por medio de las vellosidades intestinales, desde donde se transportan vía la vena porta hasta el hígado, en donde pueden formar parte de la reserva de aminoácidos o ser transportadas a los diversos tejidos y células, donde finalmente llegan a ser parte estructural. En ocasiones son degradados por hígado y en menor grado por el riñón, a la forma de cetoácidos y amoníaco, que son posteriormente eliminados a través de la orina. El proceso de incorporación de los aminoácidos a nivel celular, precisa un gasto elevado de energía, ya que se realiza contra un elevado gradiente de concentración, los aminoácidos pueden en situaciones de estrés, utilizarse para la producción de energía (McDonald *et al.*, 1988).

La proteína “cruda”, es una estimación de la proteína total, basada en el contenido de nitrógeno del alimento ($N \times 6.25$), pero el valor de proteína cruda, no suministra información sobre composición de aminoácidos, ni digestibilidad, ni sobre aprovechamiento en rumen (García *et al.*, 2005). La digestión de determinada proteína, depende en gran medida de su capacidad para disolverse en el fluido ruminal, la proteína más altamente soluble en el rumen, como el Nitrógeno No Proteico (por ejemplo urea, amoníaco), es más probable que sea descompuesta por los microbios del rumen, que la proteína insoluble, ya que estos utilizarán el nitrógeno para formar su propia proteína. Cuando el contenido de Nitrógeno en la dieta es bajo, el animal consigue eficientizar el nitrógeno disponible, mediante la reutilización de nitrógeno reciclado del retículo-rumen a través de la saliva y de la digestión de la proteína microbial de alta calidad, que posteriormente al pasar al estómago e intestino, será digerida y absorbida por el animal (Hamilton, 1991; Chamorro *et al.*, 1998; Walli, 2005).

La intervención microbial y la degradación de la proteína en el rumen puede ser una desventaja, porque resulta en una pérdida de la proteína. La eficiencia de conversión de la proteína dietética en proteína microbial, se ha estimado aproximadamente en 50 %. La calidad y cantidad de proteína que llega al intestino delgado, es la suma total de la proteína sintetizada por los microbios en el rumen y la proteína que escapó a la degradación pero, la cantidad de proteína microbial sintetizada en rumen, no provee la cantidad necesaria de aminoácidos que requieren los animales productores de leche (Walli, 2005).

Se requiere de un balance aproximado de 30-40% de proteína no degradable en rumen y de un 60-70% de proteína soluble, pero menos del 30% del total de proteína, debe ser nitrógeno no proteico. En vacas con baja producción láctea, se recomienda de 32 a 35 % de proteína de sobrepaso y en altas productoras, de 35 a 40 % del total de la proteína bruta ya que la mayor eficiencia en su utilización se da dentro de estos rangos. Harris (1993) sugiere que durante las primeras semanas posparto y hasta el momento del pico de producción, en el ganado lechero, se incremente ligeramente de la cantidad total de proteína en la dieta, debido al consumo bajo de materia seca.

Una cantidad elevada de proteína de sobrepaso, puede ser incapaz de cubrir los requerimientos de nitrógeno de los microbios del rumen, afectando de manera negativa, la digestión de los alimentos. Por otra parte, solo se puede optimizar el aprovechamiento de la proteína ruminal cuando hay carbohidratos solubles en la dieta, porque, en ausencia de carbohidratos solubles, una parte de la proteína microbiana en rumen se transforma en amoníaco. Por lo que, el líquido ruminal presenta concentraciones de amoníaco de 15-25 mg / 100 ml, mientras que el requerimiento es de 5 mg/100 ml. De esta manera, un exceso de nitrógeno no proteico o la carencia de carbohidratos solubles que ayuden a su aprovechamiento eficiente, pueden ocasionar intoxicación por urea o su eliminación a través de la orina, con lo cual, el animal tiene que realizar un gasto de energía, para convertir el amoníaco en urea por medio del hígado (Hamilton, 1991; Walli, 2005).

2.1.3. Proteína No Degradable en Rumen

El metabolismo de las proteínas en el rumen es complejo, la mayor parte de la proteína no degradable en rumen, pasa a través del omaso y abomaso y es digerida junto con la proteína microbiana, por medio de la acción enzimática de pepsina, tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidasa y aminopeptidasas en el intestino delgado, donde se digiere aproximadamente 80 % de la proteína no degradable en rumen (Chamorro *et al.*, 1998). Una razón para la utilización de proteína no degradable en rumen dentro de la dieta de los bovinos y caprinos, es el hecho de que la proteína de sobrepaso disminuye las pérdidas de energía asociadas con la fermentación y las pérdidas por transformación de proteína de la dieta en proteína microbiana. Otra razón es que los aminoácidos se requieren para la síntesis de proteína constituyente en los procesos fisiológicos del animal, pero también para la gluconeogénesis, especialmente al principio de la lactancia, para satisfacer las demandas de la glándula mamaria en la síntesis de lactosa, que incluye otras necesidades en el metabolismo de los aminoácidos para rumiantes en lactancia (Walli, 2005).

Las fuentes naturales con alto contenido de proteína de sobrepaso en los alimentos son pocas, entre ellas el gluten de maíz, la torta o pasta de semilla de

algodón, harina de pescado, pasta de coco y maíz en grano. Entre los alimentos con contenido medio de proteína de sobrepaso, se tiene: la torta de linaza, salvado de arroz sin grasa, soya y forraje de *Leucaena*. Mientras que las pastas de mostaza y cacahuete que son altamente degradables en rumen, requieren junto con la pasta de semilla de girasol, de un proceso que las proteja de la acción proteolítica de las enzimas ruminales (Walli, 2005).

Entre los métodos que existen para proteger a la proteína de la degradación en rumen, la mayoría, se ha realizado mediante el uso del calor y formaldehído en pastas altamente degradables. Uno de los problemas con el tratamiento de calor, es que no es rentable y que también puede sobreproteger a la proteína, disminuyendo su aprovechamiento (Bhagwat y Srivastava, 1993). Walli *et al* (2000), encontraron que la combinación de 150°C por 2 horas, era la que ofrecía una protección más eficiente para las pastas de soya y cacahuete. En otra investigación, Walli y Sirohi (2004) sugieren que la mejor protección para la pasta de soya fue proporcionada con 130°C por 30 minutos.

El tratamiento con formaldehído, ha sido utilizado para reducir la pérdida de proteína en los alimentos con alto nivel de degradabilidad y su impacto en la productividad. En este sentido, Sahoo y Walli (2001) reportaron que la tasa de crecimiento de las crías se incrementaba en 32.3 % con respecto al grupo testigo, cuando se les alimentaba usando pasta de mostaza tratada con formaldehído, con incrementos en la producción láctea a favor del grupo tratado respecto al testigo (1,439 vs. 1,306 g por día), en cabras mestizas. También encontraron que el tratamiento con formaldehído, protege al glucosinolato de ser degradado a tiocinato en el rumen, disminuyendo así los problemas metabólicos de tiroides en el animal. Así mismo, observaron reducciones en los niveles de tiocinato en la leche de cabra y en el análisis histopatológico encontraron tejido tiroideo normal, en animales alimentados con torta de mostaza tratada con formaldehído respecto al grupo testigo el cual, el tejido tiroideo mostró un poco de degeneración celular.

Otra de las razones importantes para suplementar con proteína no degradable en rumen, es el hecho de que una cantidad de la proteína no degradable en rumen, consiste en aminoácidos esenciales con los que las vacas lecheras cubren sus

requerimientos de aminoácidos esenciales (Santos y Huber, 1996). Santos y Huber (1996), encontraron en 15 de 17 investigaciones analizadas, que la cantidad de proteína microbiana localizada en el abomaso, decrece cuando la cantidad de proteína de sobrepaso se incrementa en la dieta. Por su parte, Chaturvedi y Walli (1999) reportaron que el total de nitrógeno no amoniacal y el nitrógeno de los alfa aminoácidos del abomaso, se incrementaban con el incremento del nivel de suplemento de proteína de sobrepaso.

2.1.4. Respuesta metabólica al consumo de proteína

En humanos se ha encontrado que el consumo de alimentos con abundante contenido proteico, eleva el índice metabólico en el plazo de una hora alcanzando un máximo cercano al 30 % sobre el valor normal; este efecto dura entre 3 y 12 horas y se conoce como "acción dinámica específica de las proteínas" (Magnen, 1983).

En una investigación realizada en niños con la enfermedad de kwashiorkor, ocasionada por malnutrición proteica, Pimstone *et al.* (1968) encontraron que cuando existe una malnutrición proteica grave, la sola administración de calorías no basta para corregir la producción excesiva de hormona de crecimiento y que es preciso subsanar el déficit proteico para que la concentración de esta hormona se normalice.

Israfi *et al.* (1996) reportaron un incremento en la inmunidad de corderos alimentados con una dieta rica en contenido de proteína de sobrepaso y encontraron que los corderos presentaban un incremento en la cantidad de leucocitos en la mucosa del tracto digestivo, así como un incremento en el número de eosinófilos en plasma sanguíneo y titulaciones más altas de Inmunoglobulina G durante el tiempo del tratamiento. En pequeños rumiantes, se ha encontrado que es posible incrementar su tasa ovulatoria mediante la manipulación de la dieta, Stewart y Oldham (1986) encontraron que alimentando ovejas con grano de lupino por un periodo tan corto como los últimos cuatro días del ciclo estral, es posible incrementar de 20 a 30 % las ovulaciones múltiples.

2.2. REPRODUCCIÓN

La cabra es uno de los primeros animales que fueron domesticados para la producción de leche, carne y fibra. En regiones de clima templado, las cabras son poliéstricas estacionales, de tal manera que, sus crías nacen en la época más favorable del año cuando existe una mayor disponibilidad de alimento y su actividad estral comienza en la época del año cuando los días son más cortos. En los climas tropicales, en los que casi no hay variación en cuanto a épocas del año, las cabras tienden a perder su estacionalidad y a seguir un patrón reproductivo propio de las nuevas condiciones (Llewelyn *et al.*, 1993).

Estos ritmos reproductivos, se pueden ver afectados por factores diversos tales como la raza de los animales, la temperatura y la temporada de lluvias, así como una alimentación deficiente (Galina *et al.*, 1995; Pelletier *et al.*, 1987). El ciclo estral se divide en cuatro periodos: periodo de receptividad al macho o estro, periodo de desarrollo temprano del cuerpo lúteo o metaestro, periodo de funcionamiento total del cuerpo lúteo o diestro y finalmente, el periodo en que ocurre la regresión del cuerpo lúteo y la maduración final de un nuevo folículo ovulatorio o proestro (Bearden y Fuquay, 2000).

Las industrias caprinas de producción de carne y leche, dependen de la efectividad con que se controlan factores tales como nutrición y reproducción. En el aspecto reproductivo, la productividad y rentabilidad dependen de la capacidad que se tiene para controlar con precisión el tiempo o momento de los eventos reproductivos con la finalidad de maximizar el número de animales nacidos, incrementando así la generación de productos de alta calidad en el momento más propicio según los precios del mercado (Martin *et al.*, 2004).

2.2.1. Fisiología del ovario

La glándula pituitaria o hipófisis, en su parte anterior, es la responsable de regular los patrones sexuales cíclicos de las hembras, mediante hormonas que circulan a través del flujo sanguíneo hasta órganos específicos, pero estos patrones

se pueden ver modificados y alterados por factores ambientales como la nutrición y el manejo (López *et al.*, 2001). Los cambios producidos en el ovario, dependen de la acción de las hormonas Folículo Estimulante (FSH) y Luteinizante (LH), que actúan casi de manera imperceptible hasta la pubertad, en que comienzan a secretarse de manera más abundante para culminar con el establecimiento de los ciclos sexuales (Tata, 1997).

En el hipotálamo, se integra la información que se recibe de manera interna y externa por medio de diferentes estímulos, tales como las diferentes concentraciones circulantes de hormonas y metabolitos, entre ellos: insulina, leptina, estradiol, progesterona, glucosa, melatonina, dopamina, así como horas luz, o la presencia de machos (Thiéry *et al.*, 2002). El sistema hormonal de la hembra, responde a los estímulos adecuados y se rige principalmente por la liberación pulsátil de la Hormona Liberadora de las Gonadotropinas (GnRH), que se produce en el hipotálamo y se libera al sistema portal hipotálamo-hipofisiario, cuyo destino es la pituitaria anterior, más específicamente, las células gonadotropas en donde se regula la liberación de Hormona Folículo Estimulante (FSH) y Homona Luteinizante (LH), que a su vez son moduladoras en la secreción de las hormonas ováricas Estradiol y Progesterona (E_2 y P_4) (Karsch *et al.*, 1992).

La secreción de estas hormonas no es constante durante el ciclo sexual, sino que varían sus cantidades en plasma sanguíneo dependiendo de la fase del ciclo reproductivo, permitiendo primero la producción de óvulos maduros y segundo, la preparación del útero para llevar a cabo el proceso de gestación (Wilcox *et al.*, 1999). El ovario es una glándula endocrina que se encarga de la producción de las hormonas Estradiol (E_2) y Progesterona (P_4) que van a la circulación sanguínea, para actuar en diversos tejidos, y es gametogénica, porque produce gametos o células sexuales reproductivas que son expulsadas de esta glándula (Goodman y Lehman, 2002).

En el ovario existen dos estructuras glandulares, el folículo y el cuerpo lúteo. El folículo está formado por células de la teca, células de la granulosa y el ovocito; las células de la teca, forman la capa externa del folículo, que se divide en teca externa que es una capa fibrosa y en una capa vascularizada o teca interna. Por otro

lado las células de la granulosa poseen función endócrina y nutritiva, están encargadas de la secreción del fluido folicular, que llena el antrum o cavidad del folículo, nutriendo al óvulo y también se encargan de la secreción de hormonas (Hedge *et al.*, 1987).

El folículo que ovuló, forma posteriormente el cuerpo lúteo cuya pared está formada por células de la teca y de la granulosa, las células granulosas se hacen poligonales y aumentan el contenido lipídico de su citoplasma. Este proceso se conoce como luteinización, y a partir de este momento, las células granulosas luteinizadas, secretan progesterona y estrógenos, mientras que las células tecales que son más pequeñas y oscuras, secretan progesterona. Los varios tipos de células luteales experimentan hiperplasia, hipertrofia y / o migración durante la formación del cuerpo lúteo. Un factor esencial en la formación y establecimiento del cuerpo lúteo, es el desarrollo de un sistema eficiente de abastecimiento sanguíneo. El desarrollo de un microsistema circulatorio implica la migración de células endoteliales, su proliferación y el desarrollo de los lúmenes capilares, este proceso es regulado por la intervención de sustancias angiogénicas y antiangiogénicas (Smith *et al.*, 1994).

Morfológicamente, existen por lo menos cuatro tipos distintos de células luteales: células esteroidogénicas pequeñas y grandes, células endotelio capilares y fibroblastos. Las células esteroidogénicas grandes representan aproximadamente el 40 % del volumen del cuerpo lúteo aunque constituyen aproximadamente el 10 % del número total de células y poseen una excepcional capacidad esteroidogénica y de secreción de proteínas, en ellas se han identificado gránulos secretores que contienen oxitocina, vasopresina y neurofisisina. Las células esteroidogénicas pequeñas representan aproximadamente el 20 % en cuanto a volumen y el 25 % del número total de células, poseen mitocondrias y retículo endoplásmico lisos abundantes, lo que es consistente con la capacidad esteroidogénica aunque parecen carecer de retículo endoplásmico y de gránulos secretores sugiriendo la ausencia de una función secretora de proteínas. Las células endotelio capilares constituyen aproximadamente el 10 % del volumen del cuerpo lúteo y el 50 % del número total de sus células, tienen forma alargada y se alinean en el lumen de los vasos sanguíneos

del cuerpo lúteo. Por último, los fibroblastos parecen infiltrarse dentro del cuerpo lúteo después del rompimiento de la membrana en el momento de la ovulación y luteinización y poseen una función luteal desconocida (Wiltbank, 1994).

2.2.2. Foliculogénesis

Los órganos reproductivos en la hembra del rumiante, realizan dos funciones reproductivas distintas: la producción de gametos en el ovario y el mantenimiento del producto de la concepción dentro del útero. La organización y control de estas funciones se lleva a cabo mediante dos estructuras endocrinas relacionadas, una de ellas conocida como folículo, se encarga del proceso de oogénesis y de la síntesis de diversas sustancias entre ellas E_2 . Por otro lado, el cuerpo lúteo es el encargado del mantenimiento de la gestación y su principal compuesto endocrino es la P_4 y su función es completa solamente durante la gestación e incompleta en la ausencia de esta (Meza-Herrera, 2003).

El óvulo es un gameto funcional de mayor tamaño que los cuerpos polares, en él se concentra la mayor parte del material de reserva, lo que es importante en el organismo ovíparo porque su desarrollo embrionario depende de este material, mientras que en el mamífero, los nutrientes necesarios para este desarrollo los obtiene de la madre a través de la placenta (Sauveur y Riviers, 1992).

En la pubertad, junto con la maduración de los ovarios, la maduración de los folículos primarios comienza con el crecimiento moderado del óvulo, que llega finalmente a incrementar algunas veces su diámetro. Inicialmente, el efecto de la FSH en el folículo es el crecimiento de las capas de células de la granulosa mientras que por fuera las células fusiformes derivadas del intersticio ovárico se agrupan formando una masa de células llamada teca. La teca se divide en dos capas, en la teca interna, las células desarrollan la capacidad de secretar hormonas sexuales (estrógenos y progesterona) y la teca externa, se convierte en la cápsula del folículo en desarrollo (Hedge *et al.*, 1987). La función ovárica es controlada por las hormonas folículo estimulante y luteinizante que son secretadas por la glándula hipófisis con un patrón de secreción (pulso y frecuencia) modulado por la hormona

liberadora de gonadotropinas (GnRH) que a su vez actúa en respuesta a diversas señales endocrinas (Wuttke *et al.*, 1998).

2.2.3. Desarrollo de folículos antrales o de Graaf

Una vez formado el antro, el crecimiento folicular se acelera formando folículos más grandes denominados antrales o de Graaf. La secreción interna de estrógeno en el interior del folículo, provoca que las células de la granulosa formen cantidades cada vez mayores de receptores a FSH, lo que da como resultado, una mayor sensibilidad de las células de la granulosa a FSH que junto con el estrógeno estimulan los receptores de LH lo que origina el rápido crecimiento folicular aumentando el diámetro original hasta 10 veces (Adashi, 1992).

Mientras el folículo crece, el óvulo permanece resguardado entre células de la granulosa localizadas en un polo del folículo y la distribución espacial con la conformación de sus organelos celulares se modifica, encontrándose que el número de mitocondrias se ve aumentado por un proceso de fisión observándose una tendencia a concentrarse en la corteza ooplásmica tanto de mitocondrias, como de vacuolas, gotitas de fosfolípidos, cuerpos de glucógeno, aparato de Golgi, así como el número y tamaño de los microvilli del oocito, según este avanza en su desarrollo (Sharma y Chowdhury, 1998). Trabajos realizados durante la fase lútea de la cabra, demostraron que el fenómeno de dominancia folicular estaba presente, es decir que existía divergencia en el crecimiento del primer folículo mayor, con el segundo folículo de mayor tamaño y que al mismo tiempo se presentaba una disminución en el número de folículos chicos mayores a 2 mm, que se correlacionaba con el crecimiento del folículo mayor y que su número solo aumentaba de nuevo, cuando el folículo mayor comenzaba a decrecer y entonces surgía la siguiente oleada folicular (Rubianes *et al.*, 1997; de Castro *et al.*, 1999).

Después de aproximadamente una semana de crecimiento y antes de que se produzca la ovulación, uno de los folículos continúa su crecimiento sobre los demás, mientras que los folículos restantes involucionan en el proceso conocido como atresia, debido probablemente a las enormes cantidades de estrógeno producidas

por el folículo mayor y que actúan sobre el hipotálamo, disminuyendo más la secreción de FSH por la adenohipófisis, lo que bloquea el crecimiento de los folículos menos desarrollados. El proceso de atresia es importante, ya que regula el número de óvulos que estarán disponibles para ser fecundados (Evans y Fortune, 1997).

2.2.4. Atresia

De los folículos ováricos presentes en el ovario fetal, solamente una pequeña fracción culminará su maduración hasta la ovulación. En la etapa fetal, la degeneración de las células germinales primordiales es la responsable de la regulación del número de folículos primordiales que sobrevivirán. En etapas más tardías de desarrollo, la atresia se inicia con la apoptosis ó muerte celular de las células germinales como respuesta a la deprivación hormonal, lo que finalmente provoca la muerte del ovocito. Este proceso se presenta en cualquier etapa del desarrollo folicular, incluso en folículos preovulatorios, aunque se ha determinado que es en el periodo entre folículo secundario y terciario donde es más común la atresia (Kaipia y Hsueh, 1997).

Las hormonas, los factores de crecimiento y citocinas entre otros factores, regulan la decisión de morir del óvulo, a través de la presencia y activación de receptores celulares específicos. Estos mismos factores pueden actuar como factores de supervivencia, activando diversas vías de transducción de señales que promueven la diferenciación y el crecimiento celular o como ligandos de muerte que activan el programa apoptótico. Entre los factores que promueven la supervivencia, se encuentra la FSH, LH, estrógenos, progesterona, hormona del crecimiento, insulina, factores de crecimiento básico derivado de fibroblastos o bFGF, factor de crecimiento epidérmico e IGF-I (Markstrom *et al.*, 2002).

Algunos de los factores que pueden inducir atresia son GnRH, andrógenos, interleucina, factor de necrosis tumoral y los radicales libres. El equilibrio entre estas señales, determina el destino final de la célula. Cuando la mitocondria está involucrada en la ejecución del programa apoptótico, la asociación del citocromo C con el factor-1 activador de las proteasas apoptóticas o APAF-1 y la pro-caspasa 9

para formar el apoptosoma, activan la cascada de caspasas. Esta cascada se puede activar directamente con daño extenso al ADN celular, o a través de los receptores de muerte, que son responsables de la formación del complejo de señalización de muerte (Hengartner, 2000; Rodgers *et al.*, 2001).

Una vez activado el mecanismo de activación de la caspasa 3, esta será responsable de la exposición de fosfatidilserina en la superficie celular, lo cual es una señal promotora de la eliminación de la célula por fagocitos y la liberación de ADNasa activada por caspasa, que se encarga de la fragmentación del DNA dentro del nucleosoma celular (Rodgers *et al.*, 2001). La regulación de patrones de expresión genética, específicos de la estirpe celular sean ovocito, células de la teca o granulosa, en uno o más periodos del desarrollo folicular, pueden ser los principales elementos que determinen la capacidad de cada folículo individual, para responder a la estimulación específica (Hengartner, 2000).

2.2.5. Control hormonal de la función folicular

En la etapa de madurez sexual, los ciclos estrales son regulados por hormonas secretadas por el hipotálamo, pituitaria, ovario y por el útero, definiéndose dos etapas, la fase folicular y la fase lútea. Cada una de estas etapas, se caracteriza por el tipo de estructura, sea folículo ó cuerpo lúteo presente en el ovario y por las hormonas producidas por el tipo de estructura ovárica que predomine (Valenzuela, 2004). El ciclo reproductivo de las cabras es estacional y está asociado frecuentemente con la ausencia de ovulaciones y son los cambios en la sensibilidad del eje hipotálamo-hipófisis, el mecanismo por el cual hembras y machos poseen ciclos estacionales (Malpoux *et al.*, 1997).

Existen bastantes evidencias de que las fluctuaciones en las concentraciones séricas de la FSH están íntimamente asociadas con la emergencia de las ondas foliculares. Un aumento de la FSH precede la emergencia de cada onda, lo cual se continúa con un descenso que se correlaciona negativamente con las concentraciones séricas del estradiol producido por el folículo más grande de la onda folicular (Baird *et al.*, 1991). En una investigación realizada con cabras, se encontró

que las cabras con 4 ondas de desarrollo folicular, tenían mayores concentraciones de progesterona durante la mitad del ciclo estral, que aquellas cabras con 2 o 3 ondas (de Castro *et al.*, 1999). Por otra parte, el estradiol en concentraciones altas puede provocar regresión prematura del cuerpo lúteo, lo que se ha observado en cabras superovuladas, en las cuales la presencia de folículos ováricos anovulatorios durante los primeros días del ciclo, se han relacionado con luteólisis prematura (Saharrea *et al.*, 1998).

2.2.6. Ultrasonografía transrectal en el manejo del ganado

Actualmente, los instrumentos modernos y el personal capacitado, pueden proveer información importante mediante la aplicación de esta técnica. Inicialmente, esta técnica permitió la identificación de hembras gestantes y gestaciones múltiples o sencillas, así como la determinación de la edad fetal, lo cual permitía implementar estrategias precisas de manejo y nutrición en etapas programadas (González de Bulnes *et al.*, 1998).

Después de la incorporación de la ultrasonografía transrectal, como técnica repetible no invasiva en el estudio de la fisiología ovárica de pequeños rumiantes, se comenzó a estudiar la dinámica folicular en cabras, para determinar si ocurría el crecimiento por ondas con dominancia del folículo mayor sobre los otros folículos como se había descubierto en bovinos (Ginther y Kot, 1994). Se encontró que la emergencia de los folículos ocurre en ondas en las que los folículos crecen desde 3 hasta 5 mm con un rango de 2 a 5 ondas foliculares dentro de cada ciclo (de Castro *et al.*, 1999).

La ultrasonografía transrectal, permite el seguimiento diario de la dinámica folicular, de manera que en los últimos años, se descubrió que el desarrollo de los folículos antrales que llegan a más de 3 mm de diámetro, ocurre en ondas que se suceden cada 4 a 6 días. El control de estas ondas, estaría determinado por incrementos previos de FSH circulante, que es la hormona encargada del reclutamiento folicular y que al mismo tiempo, las concentraciones de progesterona se relacionan con la velocidad de recambio folicular. La caracterización de estos

aspectos ha permitido desarrollar técnicas de manejo alternativas, con tratamientos cortos con progestágenos para la inducción y sincronización de celos en ovejas y cabras (Rubianes, 2000). Se reportaron algunos factores que afectan el número de ondas por ciclo tales como la raza y nutrición, encontrándose que los animales con mejor condición corporal tienen más ondas por ciclo (Viñoles *et al.*, 1999) y que los animales de raza más prolífica, poseen un menor número de ondas foliculares (Gibbons *et al.*, 1999).

2.3. INTERACCIÓN NUTRICIÓN-REPRODUCCIÓN

En la relación nutrición-reproducción en rumiantes, intervienen numerosos factores y los resultados de las investigaciones realizadas son a menudo variables, pero en general, se puede decir con seguridad que la condición corporal, nivel de alimentación y estado fisiológico de lactación o gestación, influyen en la eficacia del sistema reproductivo. En esta interacción, interviene el hipotálamo y glándula pituitaria en la secreción de GnRH, LH y FSH, mientras que en el ovario se determina la calidad de los óvulos, producción de esteroides y concentraciones de IGF's, así como diversas hormonas y metabolitos que integran el conjunto de señales que determinan la función reproductiva.

Martin y Blache (2004) mencionan que los estímulos alimenticios tienen efectos complejos en la reproducción, debido a que los órganos reproductivos y los tejidos en general, pueden absorber y responder a los factores transportados por la sangre con diversos grados de independencia respecto al control cerebral. Esto ha sido observado particularmente en las gónadas, en las que las células responden en forma parcialmente autónoma a las hormonas y sustratos transportados en la sangre. También mencionan que en investigaciones recientes sobre suplementación enfocada es decir, en cuanto a composición y duración se refiere, se ha encontrado respuesta favorable en aspectos tales como la producción de esperma antes del empadre, incremento en la tasa ovulatoria, disminución de pérdidas embrionarias tempranas y maximización del desarrollo, supervivencia postnatal y productividad futura del feto.

2.3.1. Señales del estado nutricional al sistema reproductivo

Gutierrez (2001) menciona que el desarrollo folicular se controla mediante el efecto coordinado de gonadotropinas, por lo que cambios en la secreción de las mismas generados por cambios en la nutrición, pueden afectar el desarrollo folicular. Diversos estudios sobre el efecto de la nutrición en la función ovárica, han considerado que factores tales como la glucosamina, insulina, factores de crecimiento y leptina, afectan el desarrollo folicular en el ovario (Williams *et al.*, 2001).

Al respecto, Muñoz-Gutierrez *et al.* (2002) sugieren que existen fuertes evidencias de la existencia de sistemas ováricos internos que responden a cambios en la nutrición de ovejas, siendo en la hembra, la acción de los estímulos alimenticios sobre el ovario mucho más importantes que los cambios inducidos por la nutrición en la actividad de los núcleos reproductivos del cerebro.

Pettigrew (1998), menciona dos teorías sobre el efecto que tiene la nutrición en la reproducción, en la primera, supone que la reproducción es afectada cuando la constitución de grasas y proteínas de la hembra en etapa reproductiva, cae por debajo de un nivel determinado. En la segunda, es la respuesta a señales que reflejan el estado metabólico de la hembra por medio de metabolitos, hormonas, receptores en los tejidos blanco y homeostasis, los que determinan el tipo de respuesta. En investigaciones recientes, se ha encontrado que la manipulación directa de ciertos metabolitos, utilizando insulina, IGF-I y ácidos grasos, pueden determinar el tipo de respuesta reproductiva en la hembra.

Meza-Herrera *et al.* (2005) encontraron en una investigación realizada con cabras adultas en la fase folicular media, que la infusión endovenosa de L-glutamina se reflejaba en un incremento de la liberación de insulina (INS) y que este efecto pudo ser directa o indirectamente, responsable de un mayor reclutamiento folicular o de la reducción en los niveles de atresia folicular.

El déficit nutrimental a nivel reproducción, se observa en el retraso de la presentación de la pubertad, retraso en la presentación de celo después del destete, disminución en la tasa ovulatoria y disminución de la tasa de sobrevivencia

embrionaria (Restall *et al.*, 1976; Rhind *et al.*, 1989). Sin embargo, existen pruebas de que la sobrealimentación en las primeras semanas después de la fertilización, puede generar problemas de sobrevivencia debido al parecer, a un aumento en el metabolismo de progesterona, que ocasiona deterioro del ambiente uterino (Parr *et al.*, 1993). Además, la sobrealimentación y la subalimentación durante el desarrollo embrionario temprano, tienen consecuencias a largo plazo en los embriones que consiguen vivir, debido al fenómeno de programación fetal.

La influencia de los niveles nutricionales en la fisiología reproductiva, es mediada por cambios en la actividad de las células productoras de GnRH, además de la disminución de los receptores para estradiol en el hipotálamo ventromedial y la reducción de los pulsos de LH, este efecto inhibitorio, desaparece una vez restablecidos los niveles normales requeridos. Además de las gonadotropinas, se especula que también los niveles séricos de glucosa, insulina e IGF-I, ejercen un efecto significativo en estos procesos (Hedge *et al.*, 1987).

En una investigación realizada por O'Callaghan *et al.* (2000), reportaron que ovejas con altos niveles de alimentación, aportando el doble de los requerimientos para mantenimiento en la etapa previa al empadre, el número de folículos mayores a 3 mm se incrementaba, mientras que las concentraciones de progesterona disminuían, en comparación de ovejas que recibieron alimentación que aportaba el 100 ó 50% de sus necesidades nutrimentales. El estradiol no se vió afectado pero los niveles de IGF's tuvieron modificaciones significativas.

2.3.2. Respuesta de la fisiología reproductiva al consumo de proteína

El efecto de la proteína de sobrepaso en la eficiencia reproductiva, se puede resumir en los siguientes aspectos, debido a la alta tasa de crecimiento generada por la proteína de sobrepaso del alimento, las crías alcanzan una madurez temprana, por lo que comienzan su vida reproductiva a una edad menor. El efecto de la proteína de sobrepaso también ha sido evaluado en toros de raza y criollos encontrándose que ambos mejoran su comportamiento sexual, incluyendo libido, calidad seminal, volumen seminal, motilidad y conteo espermáticos. En la hembra, se han observado

resultados similares positivos en donde, el número de servicios por concepción disminuye, después de ser alimentadas con proteína no degradable en rumen (Walli, 2005). Algunas investigaciones, reportan que los niveles de proteína en la dieta, ligeramente arriba de los requerimientos marcados para diferentes especies, determinan un incremento en los niveles de producción láctea, consumo de materia seca y tasa ovulatoria (Quesnel *et al.*, 1998).

2.3.3. Interacciones entre peso-condición corporal y reproducción

La condición corporal, ejerce un efecto sobre la reproducción a través de la regulación hormonal y metabólica, ya que determinado nivel de condición corporal produce sus propias señales al interior del organismo, mediante las cuales se sensibilizan determinados órganos o se amplía la respuesta a otros estímulos. Existe evidencia directa que implica la importancia de este mecanismo de retroalimentación, en la mediación de efectos nutricionales y su metabolismo en la reproducción (Hedge *et al.*, 1987).

Las células de la teca y de la granulosa, son las encargadas de captar la mediación del efecto hormonal y metabólico de diferentes hormonas, tales como los factores de crecimiento epidermal, factores de crecimiento similares a insulina, insulina, hormona del crecimiento, tri-iodotironina, tirosina, cortisol y neurotransmisores (Ianson y Legan, 1988).

Bloomfield *et al.* (2003) señalan que, un grupo de ovejas se sometió a un tratamiento de subalimentación por un periodo de 60 días antes y 30 días después de la concepción, resultando un marcado incremento en los partos prematuros. De este grupo, la mitad de los corderos nacieron más de dos desviaciones estándar antes de lo normal y otros cuantos nacieron antes del día 130 de gestación. Algo interesante de este estudio, fue que la restricción alimenticia no fue tan severa, perdiendo las ovejas en promedio el 15 % de su masa corporal y a partir del último día de restricción hasta el momento del parto, habían logrado recuperar su peso corporal anterior a la restricción. También se observó, que los corderos nacidos de

ovejas cuyo periodo de gestación llegó a un término normal, lograron un peso normal para corderos recién nacidos.

2.3.4. Factor de crecimiento similar a insulina tipo I

Las somatomedinas son una familia de polipéptidos que estimulan la síntesis cartilaginosa de proteoglicanos y la de DNA, razón por la cual actúan en la replicación de diversos tipos celulares. Poseen actividad similar a la insulina que incluye el aumento de la captación y oxidación de glucosa, síntesis de proteína en músculos estriados, lipogénesis en tejido adiposo y aumento en la síntesis proteínica y gluconeogénesis hepáticas (Ketelslegers *et al.*, 1995).

Daughaday (1972) propuso el nombre de somatomedinas para designar a un grupo de compuestos que poseen las siguientes características: 1) Su concentración en suero se regula por la GH, 2) Tienen actividad mitogénica en cultivos de fibroblastos, 3) Inducen la incorporación de sulfato o proteoglicanos al cartílago, 4) Tienen acción metabólica semejante a la insulina sobre los tejidos adiposo y muscular.

Los IGF's o somatomedinas son factores de crecimiento polipeptídicos cuyos precursores son formados en el hígado para posteriormente ser secretados por este mismo órgano y por otros diversos tejidos tales como los ovarios, la placenta, tejidos fetales y fibroblastos humanos, en respuesta a la estimulación de la hormona del crecimiento. Modulan casi todas las acciones promotoras de crecimiento de la hormona del crecimiento (Zulu *et al.*, 2002).

La actividad de las somatomedinas se encuentra estrechamente relacionada con la concentración de insulina y existe evidencia de que la actividad de las somatomedinas es un reflejo del estado nutricional y que la insulina juega un papel importante en la regulación de estas hormonas, razón por la que fueron asignadas con el nombre de factores de crecimiento similares a insulina (Weissman, 1990).

Las concentraciones en plasma de IGF-I, disminuyen con las lesiones, lo cual parece ser resultado del ayuno que suele acompañar a los traumatismos, dado que tal concentración también se reduce durante el ayuno voluntario y se relaciona de

manera positiva con la insulinemia. Existen antagonistas de IGF's que son factores de naturaleza peptídica de origen hepático, que se encuentran en el suero de animales en estado de inanición, hipofisectomizados o en personas con diabetes y parecen estar regulados metabólicamente por insulina y por la cantidad disponible de nutrientes. En condiciones normales, están equilibrados con la cantidad de IGF's, pero aumentan cuando los IGF's disminuyen. También se les encuentra elevados en ciertas nefropatías, en presencia de un exceso de glucocorticoides y de estrógenos (Scott, 1994).

En un estudio realizado con niños con quemaduras de tercer grado se demostraron los beneficios de la administración de IGF-I, ya que mejoró el tiempo de cicatrización después de la aplicación de injertos y estimuló las defensas del huésped, disminuyendo el índice de infecciones. Se encontró que rGH incrementaba el efecto ahorrador de nitrógeno dado por IGF-I y que al mismo tiempo se disminuía la hipoglucemia generada por IGF-I (Pichard, 1995).

Langman (2004), menciona que en humanos, el principal factor que promueve el crecimiento durante el desarrollo antes y después del nacimiento es IGF-I, que tiene efectos mitógenos y anabólicos. Asimismo, los tejidos fetales expresan IGF-I y sus niveles en el suero se correlacionan con el crecimiento fetal. Las mutaciones en el *gen IGF-I* que determina la producción de este factor, producen retardo del crecimiento intrauterino, a diferencia de lo que sucede durante crecimiento postnatal que depende de la hormona de crecimiento.

Después del nacimiento, la hormona del crecimiento o GH, se une a su receptor o GHR, activando un patrón de transducción de señales, que da lugar a la síntesis y secreción de IGF-I. Pero, durante el desarrollo fetal la producción de IGF-I no depende de la GH (Langman, 2004).

Lorenzo *et al.* (1996) reportaron en una investigación realizada con adipocitos marrones fetales de rata, que estas células responden con un incremento de la proliferación y diferenciación celular ante IGF-I. También detectaron la expresión endógena de IGF-I en estas células sugiriendo que IGF-I puede ser una de las señales fisiológicas que impulsan el desarrollo del tejido adiposo marrón *in vivo* durante los últimos días de la etapa fetal.

2.3.5. IGF-I en el ovario

La actividad ovárica se lleva a cabo mediante el rápido y continuo crecimiento, así como la diferenciación de las células del ovario para la formación de todas sus estructuras. El factor de crecimiento similar a insulina tipo I, es uno de los reguladores que más se ha estudiado, aunque la mayoría se ha enfocado a su producción por las células de la granulosa, es un potente estimulador de la proliferación folicular y la secreción folicular de esteroides (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Se sabe que ejerce un efecto autocrino que potencia la acción de FSH sobre la propia célula de la granulosa, principalmente en el proceso de aromatización. En cuanto a las células de la teca, su efecto es de tipo paracrino y actúa de manera sinérgica con LH (Schams *et al.*, 2002).

Las interacciones del eje somatotrópico en el que actúan la hormona del crecimiento (GH), los factores de crecimiento similares a insulina tipo I y II (IGF-I, IGF-II) y sus proteínas enlazadoras, tienen una función primordial en la fisiología del ovario (Barb *et al.*, 1996). Se ha encontrado que tanto IGF-I como la INS, ejercen un efecto estimulador sobre la proliferación y mitogénesis de células tecales y de la granulosa y que al mismo tiempo, actúan en forma sinérgica con gonadotropinas favoreciendo la esteroidogénesis ovárica y la formación de folículos preovulatorios (Davidson *et al.*, 2002).

2.3.6. Interacciones nutrición-factores de crecimiento similares a insulina-reproducción

Algunos estudios han demostrado que el Factor de crecimiento similar a insulina tipo I (IGF-I) se regula mediante el estado nutricional del sujeto y que la disponibilidad de proteínas y energía son necesarias para el mantenimiento de los niveles de IGF-I. Las cuantificaciones de IGF-I constituyen un indicativo para el monitoreo de la respuesta al soporte nutricional durante las enfermedades agudas ya que sirven como indicador del estado nutricional. Se ha sugerido que los nutrientes influyen en la síntesis, acción de IGF-I y en su unión con sus proteínas receptoras en diferentes niveles (Ketelslegers *et al.*, 1995).

Durante el ayuno, las concentraciones de IGF-I disminuyen, aunque esta situación se normaliza al restablecer la ingesta alimenticia, de esto puede deducirse que la circulación del IGF-I se ve afectada por el estado nutricional y que se relaciona con índices metabólicos aceptables de diversas sustancias, tales como la albúmina y la prealbúmina entre otras (Thissen *et al.*, 1994).

Las somatomedinas o IGF's, poseen la capacidad de generar los efectos de la insulina, aunque en menor grado, debido a que son reconocidos por los receptores de insulina debido a que la cadena principal de los IGF's contiene la secuencia reconocida por los receptores de insulina y por otro lado, la insulina también puede unirse a los receptores de IGF's. El receptor para IGF-I, es un tetrámero de estructura muy similar al receptor de insulina, está presente en muchas células como los condrocitos, linfocitos, fibroblastos, membranas de la placenta, hepatocitos, adipocitos y se une, aunque con menor afinidad al IGF-II, al factor con actividad estimulante de la multiplicación celular o MSA y a la insulina (Kasuga *et al.*, 1981; Massague y Czech, 1982).

En algunos pacientes con tumores productores de somatomedinas, se han descrito casos de hipoglucemia, por lo que se ha propuesto que las acciones metabólicas de los IGF's, se ejercen a través de su interacción con los receptores a insulina (Chernausk *et al.*, 1981). Los IGF's, promueven crecimiento, diferenciación de tejidos, proliferación celular y la síntesis de proteínas. También tienen una acción importante en el crecimiento de las células derivadas de las tres capas embrionarias, incluyendo células HELA*, fibroblastos, mioblastos, hepatocitos, células de tumores ováricos y pituitarios, epitelio cristalino, condrocitos, tejido muscular, hematopoyético y epitelial (Clemmons y Van Wyk, 1985; D'Ercole *et al.*, 1984).

* **Célula HeLa.** Linaje de células cancerosas «inmortales» originariamente se supuso, procedían de una mujer llamada Helen Lane en los años cincuenta. Fueron las primeras células humanas que se cultivaron fuera del cuerpo humano en grandes cantidades y ahora cultivadas en laboratorios de todo el mundo. Los humanos cuentan con un límite de Hayflick de unas cincuenta divisiones celulares lo que los convierte en los mamíferos más longevos pero las células HeLa pueden realizar un número infinito de divisiones. No envejecen, siguen creciendo y dividiéndose siempre que tengan nutrientes, oxígeno, espacio y algún medio de deshacerse de sus residuos.

2.3.7. Consumo de proteína y niveles séricos de IGF's

Los efectos anabólicos y en el metabolismo de las proteínas de la hormona del crecimiento (GH) son mediados principalmente por la IGF-I. La desnutrición proteica y su consecuente estado catabólico dan como secuela la elevación de las concentraciones séricas de la hormona del crecimiento y una disminución de los niveles de IGF-I. Algunos experimentos sugieren que la administración de IGF-I exógena puede disminuir o revertir el catabolismo de las proteínas durante la respuesta metabólica al trauma (Goeters *et al.*, 1995).

La desnutrición proteica no solo disminuye la producción de IGF-I sino que también aumenta su disolución plasmática y su degradación. Además, existe evidencia de que se genera una resistencia selectiva de algunos órganos para los efectos de crecimiento promovidos por la IGF-I en ratas con restricción de proteínas. (Ketelslegers *et al.*, 1995). En los estados de desnutrición aguda, el número de receptores para la hormona del crecimiento disminuyen en número, por lo que además el efecto posreceptor de esta hormona provoca bajos niveles de IGF-I, aunque en los estados de sobre alimentación, la GH se encuentra disminuida y el IGF-I, se encuentra en concentraciones normales ó superiores (Moller *et al.*, 1995).

Zhao y Donovan (1995) mencionan que el tratamiento con GH en combinación con IGF-I es más efectivo para promover la recuperación del peso corporal en forma más rápida y completa después de la desnutrición si se compara con tratamientos utilizando ya sea GH o IGF-I por separado. La insulina y algunas hormonas relacionadas con ella tal como las somatomedinas o IGF's, muchas veces resultan necesarias de manera obligada al igual que las proteínas para la conservación y proliferación de tipos celulares específicos (Holtzman y Novikoff, 1986).

El mecanismo mediante el cual la rGH (Hormona liberadora de la GH) induce anabolismo proteínico, incluye efectos directos que involucran la estimulación de la síntesis endógena de IGF-I. A pesar de que la alimentación intravenosa incrementa los niveles séricos de IGF-I, se ha comprobado que la administración simultánea de esta forma de alimentación y de rGH, incrementa los valores séricos de IGF-I (Pichard, 1995).

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS

La suplementación de cabras con diferente condición corporal (efecto estático) utilizando proteína no digerible en rumen (efecto dinámico), incrementa los niveles de IGF-I circulante en suero sanguíneo, lo cual favorece el desarrollo y crecimiento folicular e incrementa la actividad ovárica y la tasa ovulatoria en cabras en fase folicular tardía.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron:

Determinar el efecto de suplementar o no, con proteína no degradable en rumen a cabras con diferente condición corporal y evaluar la variación de peso vivo y condición corporal durante el experimento;

Determinar mediante ultrasonografía la actividad ovárica (presencia de cuerpos lúteos totales y folículos presentes en cada ovario clasificándolos por tamaño) y el volumen ovárico;

Determinar los niveles séricos de IGF-I presentes en cabras en fase folicular tardía.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del área experimental y condiciones ambientales

La presente investigación, se llevó a cabo en la Unidad de Investigación Caprina Sur, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, situada en el municipio de Tlahualilo, a 3 km de Bermejillo, Durango. Dicha Unidad, se localiza en las coordenadas 639935 E y 2864331 N Universal Transversa Mercator o UTM, correspondientes a las coordenadas geográficas 25°53'32" de Latitud Norte y 103°36' 11" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1,117 msnm. El clima es seco semidesértico extremoso o BWw, de acuerdo con la clasificación de Köppen (Rzedowski, 1994).

La temperatura media anual, es de 20°C con dos épocas definidas, la primera comprende de abril a octubre, con una temperatura media mensual superior a 20°C y la segunda de noviembre a marzo, con rangos mensuales entre los 13.6°C y 19.4°C. Los meses más calurosos son, de mayo a agosto con temperaturas máximas de hasta 47°C y los más fríos, son diciembre y enero, con temperaturas mínimas inferiores a 0°C. La precipitación promedio anual es de 242.2 mm (SPP, 1981).

4.2. Formación de grupos experimentales

Se utilizaron 32 cabras de 19 meses de edad, F1 (Alpino x Nubia). Las cabras fueron sometidas a un periodo de adaptación de 40 días, registrando el peso corporal al inicio de la formación de los grupos experimentales (julio), al final del periodo de adaptación y posteriormente se evaluó cada quince días en ayuno. La condición corporal se evaluó mediante palpación dorsal y costal, utilizando una escala de 1 (muy flaca) y 5 (muy gorda) (Russel *et al.*, 1969) realizando dicha evaluación cada 15 días.

Con objeto de formar los grupos experimentales con condición corporal y pesos vivos divergentes, la dieta ofrecida a las cabras durante el período de

adaptación consideró el siguiente manejo nutricional: Las 16 cabras más pesadas recibieron 1 kg de alfalfa henificada por día (Cuadro 1), mientras que las 16 cabras menos pesadas además de la alfalfa henificada (0.6 kg / cabra / día) recibieron 100 g de maíz rolado (Cuadro 2). La ración de maíz fue incrementada gradualmente en un lapso de seis semanas hasta llegar a 200 g de maíz / cabra / día con objeto de obtener grupos de animales con condición corporal y peso vivo divergente.

Cuadro 1. Análisis químico de alfalfa henificada *Medicago sativa*, ofrecida como parte de la dieta base durante la formación de grupos experimentales y durante el periodo experimental

DETERMINACIÓN	PORCENTAJE
Proteína cruda	14.6
Grasa	5.0
Fibra cruda	32.8
Extracto libre de nitrógeno	30.5
Humedad	6.3
Cenizas	10.8

* Base seca

Cuadro 2. Análisis químico del maíz (*Zea mays*) rolado* ofrecido a las cabras menos pesadas durante el periodo de adaptación

DETERMINACIÓN	PORCENTAJE
Materia seca	86.0
Proteína cruda	11.2
Fibra cruda	1.0
Fibra detergente neutro	9.0
Fibra detergente ácido	3.0

* Base seca

Posteriormente, la dieta basal de estos grupos consistió de heno de alfalfa molido, ofreciendo en forma respectiva 70% y 100% de los requerimientos nutricionales a los grupos de baja y alta condición corporal (NRC, 1981). Las medias de mínimos cuadrados de los pesos vivos de los grupos de baja y alta condición

corporal al inicio y al final del periodo de adaptación, se presentan en el Cuadro 3, siendo los pesos vivos diferentes ($P < 0.001$), entre ambos grupos de baja y alta condición corporal.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados para pesos inicial y final en el periodo de adaptación de los grupos con BCC y ACC

PESO VIVO (Kg)	INICIO	FINAL
Baja condición	29.04 ± 0.71	28.81 ± 0.72
Alta condición	33.79 ± 0.71	35.12 ± 0.72
Probabilidad	0.001	0.001

BCC Baja condición corporal

ACC Alta condición corporal

4.3. Diseño de tratamientos

El diseño de los tratamientos consideró un arreglo factorial 2 x 2, con dos niveles de condición corporal (bajo y alto) y dos niveles de suplementación de proteína de no degradable en rumen (0 g de PNDR y 103.95 g de PNDR). Las cabras (n=32), fueron separadas en dos grupos, uno de alta (ACC) y otro de baja (BCC) condición corporal. Posteriormente, las cabras se asignaron de manera aleatoria a cada uno de los 16 corrales dentro de condición corporal, es decir, 8 corrales para ACC y 8 con BCC. Posteriormente, los corrales dentro condición corporal, fueron asignados a los dos niveles de Proteína No Degradable en Rumen: (1) Sin suplementación de harina de sangre y (2) Con suplementación de 125 g de harina de sangre, equivalente a 103.95 g de PNDR por cabra, por día.

Es decir, los tratamientos fueron:

	CONDICIÓN CORPORAL	NIVEL DE PROTEÍNA
T1	Baja Condición Corporal	Sin Suplementación (0 g PNDR)
T2	Baja Condición Corporal	Con 125 g de harina de sangre (103.95 g PNDR)
T3	Alta Condición Corporal	Sin Suplementación (0 g PNDR)
T4	Alta Condición Corporal	Con 125 gr de harina de sangre (103.95 g PNDR)

El valor de 103.95 g de Proteína No Degradable en Rumen es el equivalente para 125 g de harina de sangre según la etiqueta del producto.

La dieta basal de los cuatro grupos se formó con: heno de alfalfa molida, más la cantidad de proteína no degradable en rumen o PNDR asignada: 0 g de PNDR y 103.95 g PNDR, en donde la fuente de la proteína no degradable en rumen fue la harina de sangre. En cada uno de los grupos de baja y alta condición corporal, se cubrieron en forma respectiva el 70% y el 100% de los requerimientos nutricionales (NRC,1981). Los grupos experimentales fueron alimentados dos veces al día y se ofreció agua limpia y sombra durante 55 días. Para conseguir homogeneidad en el momento de presentación de la ovulación, los animales fueron sincronizados, por lo cual, el periodo experimental abarcó 40 días antes de la ovulación y 15 días después de la misma iniciando en el mes de agosto y finalizando en octubre.

4.4. Sincronización del estro

A los 29 días después de iniciada la fase experimental, las cabras fueron estrualmente sincronizadas, utilizando una primer dosis de 0.9 ml de Cloprostenol sódico del producto "Celosil ®" equivalente a 250 mcg de Cloprostenol por cada 1 ml de producto y una segunda dosis en igual cantidad, a los 11 días de aplicada la primera. Este producto es una prostaglandina sintética análoga, que se relaciona estructuralmente a la prostaglandina $F_{2\alpha}$, aunque su actividad luteolítica está aumentada. Aplicada los días 5 y 18 del ciclo estral, produce una regresión del Cuerpo Lúteo y ocasiona una disminución en las concentraciones de Progesterona (P_4) menores a 1 ng mL^{-1} durante las 24 h posteriores a su aplicación, promoviendo una subsecuente elevación en los niveles de Estradiol (E_2), así como de Hormona Luteinizante (LH). Lo anterior desencadena la presentación del estro, y de un pico en los niveles de secreción de LH, en el periodo comprendido entre los siguientes 2 a 5 días, provocando la ovulación.

4.5. Muestreo sanguíneo

Una vez transcurridas 24 horas después de la segunda aplicación del cloprostenol sódico, se seleccionaron en forma aleatoria cuatro cabras por tratamiento, para un total de 16 cabras y a cada una de ellas se le realizaron dos muestreos sanguíneos con la finalidad de determinar la concentración de IGF-I, el primero al tiempo cero (día 41) y el segundo se realizó 6 horas después del primero. El total de muestras colectadas fue de 32. Las muestras sanguíneas fueron colectadas por venopunción de la yugular, utilizando agujas estériles de 0.8 x 38 mm (Becton Dickinson and Company, de Franklin Lakes, USA) y tubos colectores estériles Vacutainer de 10 ml (Corvac Sherwood Medical, de Std. Louis, Mo, USA). Las muestras se dejaron reposar a temperatura ambiente hasta la formación del coágulo y posterior a esto, fueron centrifugadas a 1,500 x *g* durante 15 minutos, con la finalidad de separar la porción sérica, la cual fue almacenada en microtubos de polipropileno de 1.5 ml (MCT-150C, Axygen^{MR} Scientific, INC., Union City; California, USA), a una temperatura de -20°C.

4.6. Cuantificación de IGF-1 mediante radioinmunoanálisis

La determinación de la concentración de IGF-I, se realizó mediante RIA de acuerdo a los procedimientos sugeridos por Sansón y Halford (1984), en el Laboratorio de Endocrinología del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Estatal de Nuevo México, Las Cruces, Nuevo Mexico, USA. El coeficiente de variación intra ensayo fue del 10 %, con un límite de detección de 0.5 ng mL⁻¹.

4.7. Análisis ultrasonográfico de la actividad ovárica

Una vez concluida la fase de suplementación la actividad ovárica se evaluó mediante la técnica de ultrasonografía, con un equipo Toshiba (Medical Systems Ltd. Crawley, UK), utilizando un transductor lineal de 7.5 Mhz para uso veterinario. Previo al análisis ultrasonográfico, las cabras fueron sujetadas de las extremidades

anteriores y posteriores a una mesa de recumbencia dorsal. Se aplicó gel obstétrico (Lubrel Arnolds Veterinary Products, Ltd, USA) al transductor el cual se cubrió con un preservativo estéril de látex, el cual fue a su vez cubierto con gel obstétrico.

El transductor se introdujo en el recto del animal avanzándolo hacia su línea media, con el rastreador dirigido hacia la parte ventral del animal hasta que la vejiga y el útero fueron identificados (Griffin y Ginther, 1992). Posteriormente, se realizó una serie de rotaciones bilaterales, moviendo el transductor en dirección caudal hasta localizar los ovarios, en los casos en que fue difícil posicionar los ovarios, se identificó su posición relativa con respecto al otro. Todas las evaluaciones fueron realizadas por un experto en imagen quien fotografió e identificó número, tipo y diámetro de estructuras presentes en ambos ovarios.

4.8. Variables

Los análisis estadísticos fueron realizados con la siguiente información:

A) Variables colectadas. La información colectada fue la siguiente:

- Identificación de la cabra
- Condición corporal
- Peso vivo
- Folículos en ovario izquierdo
- Folículos en ovario derecho
- Folículos ≤ 5 mm
- Folículos > 5 mm
- Cuerpos lúteos totales
- Estructuras totales
- Volumen ovárico total
- Muestreo sanguíneo

B) Variables generadas. Con base en la información colectada, se generaron las siguientes variables:

- PV = Peso Vivo
- CCC = Calificación de la Condición Corporal
- FA = Folículos Antrales
- FT = Folículos Totales
- CLT = Cuerpos Lúteos Totales
- AOT-1 = Cuerpos Lúteos Totales + Folículos Totales
- AOT-2 = Cuerpos Lúteos Totales + Folículos Antrales
- VOT = Volumen Ovárico Total
- IGF-I = Factor de Crecimiento Similar a la Insulina Tipo I

4.9. Análisis estadístico

Tanto los pesos vivos y actividad ovárica considerando el número de folículos y cuerpos lúteos fueron evaluados mediante un análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 2 x 2. Cuando se observaron valores significativos de F, la separación de medias consideró el procedimiento PDIFF para probar sus diferencias. Todos los análisis fueron realizados utilizando los procedimientos GLM del programa SAS (1989).

4.9.1. Modelos estadísticos

Los modelos estadísticos utilizados fueron para la evaluación de las variables:

$$1) Y_{ij} = \mu + NP_i + CC_j + (NP \times CC)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij}	Respuesta de la j-ésima cabra al i-ésimo nivel de proteína y a la j-ésima condición corporal.
μ	Media general.
NP_i	Efecto del i-ésimo nivel de proteína, donde i= 1 y 2.

- CC_j** Efecto de la j-ésima condición corporal, donde j=1 y 2.
- (NP x CC)_{ij}** Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de proteína dentro de la j-ésima condición corporal, donde: ij=1,2,3,4.
- E_{ijk}** Error experimental de la k-ésima repetición del i-ésimo nivel de proteína y la j-ésima condición corporal \approx NID ($\mu=0$ y σ^2).

Los datos de las concentraciones séricas de IGF-I fueron analizados con un diseño completamente al azar con arreglo de parcelas divididas para mediciones repetidas en el tiempo. Los análisis fueron desarrollados de acuerdo al siguiente modelo:

$$2) Y_{ijkl} = \mu + NP_i + CC_j + (NP \times CC)_{ij} + ID_{k(ij)} + t_l + (NP \times t)_{il} + (CC \times t)_{jl} + E_{ijkl}$$

Donde:

- Y_{ijkl}** Variable de respuesta de concentración sérica de IGF-I en el i-ésimo nivel de proteína y la j-ésima condición corporal de la k-ésima cabra dentro del l-ésimo tiempo de muestreo.
- μ** Media general.
- NP_i** Efecto del i-ésimo nivel de proteína, donde: i=1,2.
- CC_j** Efecto de la j-ésima condición corporal, donde: j=1,2.
- (NP x CC)_{ij}** Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de proteína dentro de la j-ésima condición corporal, donde: ij=1,2,3,4.
- ID_{k(ij)}** Efecto de la k-ésima cabra, donde: j=1,... 16, en el i-ésimo nivel de proteína y la j-ésima condición corporal. (**ERROR A**)
- t_l** Efecto del l-ésimo tiempo de muestreo, donde: l=1,2.
- NP x t_(il)** Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de proteína dentro del l-ésimo tiempo de muestreo.
- CC x t_(jl)** Efecto de la interacción de la j-ésima condición corporal dentro del l-ésimo tiempo de muestreo.
- E_{ijk}** Error experimental de la k-ésima repetición del i-ésimo nivel de proteína y la j-ésima condición corporal \approx NID ($\mu=0$ y σ^2). (**ERROR B**)

V. RESULTADOS

5.1. Condición Corporal

En el Cuadro 4 se presentan las medias de mínimos cuadrados de las variables según la calificación de la condición corporal (CCC, unidades) al momento del ultrasonido, peso vivo (PV, kg), volumen ovárico total (VOT, mm³), folículos totales (FT, < y > 5 mm), cuerpos lúteos totales (CLT, unidades), actividad ovárica total 1 (AOT-1, CLT+FT), folículos antrales (FA, > 5 mm), actividad ovárica total 2 (AOT-2, CLT+FA) y niveles séricos del factor de crecimiento análogo a insulina (IGF-I, ng mL⁻¹) en la fase folicular tardía en cabras con o sin suplementación de proteína de sobrepeso y en condición corporal baja o alta en la Comarca Lagunera (25° LN)

Las cabras del grupo BCC pesaron menos ($P<0.001$) y mostraron menor condición corporal ($P<0.001$) al momento del ultrasonido con respecto a las cabras en ACC. La Actividad Ovárica Total 1 (AOT-1), fue afectada ($P<0.01$) positivamente por la condición corporal, ya que la cantidad de CLT y FT (AOT-1), mostraron una mejor respuesta cuando la condición corporal era mayor con respecto a aquellos que mostraron una condición corporal baja. El promedio para la condición corporal mayor fue de 3.2 mientras que la condición corporal baja, obtuvo una menor respuesta, en poco más de un punto en promedio, es decir 2.1 CCC con respecto a condición alta.

La Actividad Ovárica Total 2 (CLT + FA) mostró una respuesta similar a la observada en AOT-1 (CLT+FT), al diferir entre tratamientos a favor de las cabras en ACC, observándose un incremento mayor a un punto en el promedio de los valores a comparación de los animales en condición baja. Algo similar se encontró con respecto a la presencia de CLT, los cuales se encontraron en mayor número ($P<0.001$) en las cabras con ACC. Lo mismo fue observado con respecto al VOT, el cual logró mayores ($P=0.001$) valores en las cabras en ACC, observando una diferencia de aproximadamente 800 mm³ a favor de las cabras con ACC. Por otra parte, se encontró que los niveles séricos de IGF-I se incrementaron ($P<0.001$) en el grupo de cabras con una mejor condición corporal, es decir el peso vivo y condición

corporal de los animales influyó sobre las concentraciones en plasma sanguíneo de IGF-, a favor de los animales más pesados y con mejor condición corporal.

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados al momento del ultrasonido para PV, CCC, VOT, FT, CLT, AOT-1, FA, AOT-2 y niveles séricos de IGF-I en la fase folicular tardía de cabras con o sin suplementación de proteína de sobrepeso por condición corporal baja o alta en la Comarca Lagunera (25° LN) ¹

VARIABLES*	CONDICIÓN CORPORAL			EE ³
	BAJA	ALTA	N.S.O. ²	
PV (kg)	28.7	38.4	0.001	1.02
CCC (unidades)	2.1	3.2	0.001	0.31
VOT (mm ³)	1043.2	1885.2	0.001	139.8
FT (< y > 5 mm)	2.1	2.4	0.490	0.25
CLT (unidades)	1.8	2.8	0.001	0.20
AOT-1 (CLT+FT)	4.0	5.2	0.012	0.31
FA (> 5 mm)	0.1	1.0	0.001	0.16
AOT-2 (CLT+FA)	2.0	3.9	0.001	0.23
IGF-1 (ng/ml)	93.8	183.0	0.001	12.8

¹ Al no existir efecto de interacción entre efectos simples, se reportan las medias de mínimos cuadrados para efectos principales EE

² Nivel de significancia observado

³ Error estándar de medias de mínimos cuadrados más conservador

* **PV**=Peso Vivo; **CCC**=Calificación de la Condición Corporal; **VOT**=Volumen Ovárico Total; **FT**=Folículos Totales; **CLT**=Cuerpos Lúteos Totales; **AOT-1**=Actividad Ovárica Total-1; **FA**=Folículos Antrales; **AOT-2**=Actividad Ovárica Total-2; **IGF-I**=Factor de Crecimiento Análogo a la Insulina Tipo I
IGF-, a favor de los animales más pesados y con mejor condición corporal.

La variable Folículos Antrales (FA) también se vio afectada positivamente a favor de los animales en ACC respecto de aquellos con BCC. Por último, se observa interacción entre Peso Vivo y Condición corporal.

5.2. Proteína No Degradable en Rumen

En el Cuadro 5 se muestran las medias de mínimos cuadrados al momento del ultrasonido, según el nivel de proteína no degradable en rumen (PNDR) en la dieta

para peso vivo (PV, kg), Volumen Ovárico Total (VOT, mm³), Folículos Totales (FT, < ó > 5mm, unidades), Cuerpos Lúteos Totales (CLT, unidades), Actividad Ovárica Total 1 (AOT-1, CLT+FT), Folículos Antrales (FA, > 5 mm), Actividad Ovárica Total 2 (AOT-2, CLT+FA) y niveles séricos del Factor de Crecimiento Similar a Insulina Tipo I (IGF-I, ng mL⁻¹) en la fase folicular tardía en cabras con o sin suplementación de proteína de sobrepaso y en Condición Corporal Baja (BCC) o Alta (ACC) en la Comarca Lagunera (25°LN). En el presente estudio, tanto el PV (Peso Vivo) como la CCC (Calificación de la Condición Corporal) no difirieron (P>0.05) entre los animales suplementados con respecto a los no suplementados con proteína no degradable en rumen.

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados al momento del ultrasonido para PV, CCC, VOT, FT, CLT, AOT-1, FA, AOT-2 y niveles séricos de IGF-I en la fase folicular tardía de cabras CON o SIN suplementación de proteína de sobrepaso por nivel de proteína de la dieta en la Comarca Lagunera (25° LN) ¹

VARIABLES*	NIVEL DE PROTEÍNA ²			EE ⁴
	SIN	CON	N.S.O. ³	
PV (kg)	32.5	34.6	0.15	1.02
CCC (unidades)	2.4	2.6	0.10	0.31
VOT (mm ³)	1355.3	1573.5	0.27	139.8
FT (< y > 5 mm)	1.9	2.6	0.04	0.25
CLT (unidades)	2.0	2.6	0.05	0.20
AOT-1 (CLT+FT)	4.0	5.3	0.001	0.31
FA (> 5 mm)	0.4	0.8	0.12	0.16
AOT-2 (CLT+FA)	2.5	3.4	0.0001	0.23
IGF-1 (ng/ml)	91.3	185.5	0.0001	12.8

¹ Al no existir efecto de interacción entre efectos simples, se reportan las medias de mínimos cuadrados para efectos principales EE

² Nivel de proteína: Sin Suplementación de harina de sangre (0g de PNDR por cabra día⁻¹), Con Suplementación de 125 gr de harina de sangre (103.95 g de PNDR por cabra día⁻¹)

³ Nivel de significancia observado

⁴ Error estándar de medias de mínimos cuadrados más conservador

* **PV**=Peso Vivo; **CCC**=Calificación de la Condición Corporal; **VOT**=Volumen Ovárico Total; **FT**=Folículos Totales; **CLT**=Cuerpos Lúteos Totales; **AOT-1**=Actividad Ovárica Total-1; **FA**=Folículos Antrales; **AOT-2**=Actividad Ovárica Total-2; **IGF-I**=Factor de Crecimiento Análogo a la Insulina Tipo I

Por el contrario, la AOT-1 y la AOT-2, fueron positivamente afectadas ($P < 0.05$) cuando las cabras recibieron el nivel alto de suplementación con proteína de sobrepaso, con respecto a las cabras no suplementadas. Por lo anterior, la suplementación con proteína no degradable en rumen, ejerció un efecto positivo sobre la persistencia de Cuerpos Lúteos Totales y Folículos Totales. En el mismo sentido, los niveles séricos circulantes de IGF-I, difirieron ($P < 0.001$) entre tratamientos, observando una correlación positiva entre concentración de IGF-I en suero y el nivel de suplementación de proteína de sobrepaso. Por el contrario, tanto el Volumen Ovárico Total como el número de Folículos Antrales, no vieron afectada su expresión fenotípica ($P > 0.05$) por nivel de proteína de sobrepaso suplementada.

VI. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten aceptar la hipótesis de trabajo planteada al inicio del experimento, ya que tanto el estado metabólico de la cabra, evaluado como peso vivo o condición corporal así como la suplementación con proteína no digerible en rumen, incrementaron los niveles séricos de IGF-I y favorecieron el desarrollo y crecimiento folicular, incrementando la actividad ovárica total y el número de cuerpos lúteos presentes en cabras en fase folicular tardía a comparación de las cabras que no fueron suplementadas y cuya condición corporal era baja BCC. En efecto, los resultados del presente estudio muestran una clara influencia positiva de la suplementación con proteína no degradable en rumen y de la condición corporal sobre las variables reproductivas. En el caso de la suplementación con proteína no degradable en rumen, las variables FT, CLT, AOT-1, AOT-2 así como la variable IGF-I, fueron las que mostraron un incremento en sus valores, derivado de la suplementación con harina de sangre como fuente de proteína no degradable en rumen. En el aspecto reproductivo para la hembra caprina, lo anterior implica que su capacidad para reproducirse y mantener una gestación, tendrá un mayor número de factores que la beneficien, lo que redundará en una productividad mayor del hato caprino sin la aplicación de productos hormonales.

6.1. Condición Corporal

En el Cuadro 4, se observa en general una mayor respuesta en las variables dependientes cuando la condición corporal era más alta y en la mayor parte de ellas, el nivel de significancia observado mostró un claro efecto de la condición corporal sobre las variables reproductivas. Cuando se presentan largos periodos de restricción nutricional o en la primera etapa de la lactancia, las hembras movilizan tejido adiposo y muscular para obtener la energía necesaria para cubrir sus demandas con la consecuente pérdida o disminución de la condición corporal y finalmente se afecta la función ovárica debido a la acción fisiológica de metabolitos y

de las hormonas sobre el ovario (Wattiaux y Grummer, 2002). En el presente estudio la AOT-1, mostró una mejor respuesta con respecto a la condición corporal alta de la cabra. Al mismo tiempo, la variable AOT-2 mostró mayores valores cuando la condición corporal era mayor. Smith *et al.* (1994) mencionan que uno de los requerimientos esenciales para el establecimiento y persistencia del Cuerpo Lúteo, es la formación de una microred capilar eficiente y que en la formación de dicha red, interviene el efecto coordinado de diversos factores angiogénicos y antiangiogénicos entre los cuales, según ya se mencionó con anterioridad, se encuentra IGF-I. En AOT-1 y en AOT-2, la respuesta en baja condición corporal determinó un menor número de Cuerpos Lúteos Totales, Folículos Totales y Folículos Antrales a comparación de lo observado en los casos de mejor condición corporal. La mejora de la condición corporal a través de la suplementación con concentrados energéticos básicamente, aunque también con la suplementación proteica antes del periodo de monta o inseminación, se encuentra asociada con un incremento en la tasa ovulatoria y con el porcentaje de partos múltiples, lo que coincide con los resultados obtenidos en diversas investigaciones (O'Callaghan y Boland, 1999; Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Los niveles séricos de IGF-I, se vieron incrementados cuando se presentaba mejor condición corporal, lo cual puede estar relacionado a la capacidad de IGF-I para incrementar la retención de nitrógeno y disminuir el nitrógeno ureico en sangre por lo que su efecto se relaciona directamente con el crecimiento y desarrollo de tejidos, además que se ha reportado que es un factor auxiliar en la recuperación de estados desfavorables tales como enfermedad, insuficiencia nutricional y heridas (Le Roith y Butler, 1999). En el mismo sentido, coincide con lo reportado por Scaramuzzi *et al.* (2006) en ovejas en donde se observó que animales con mayor peso vivo y mayor condición corporal mostraron valores séricos aumentados de IGF-1.

6.2. Proteína No Degradable en Rumen

En el corto plazo, una mejora en la calidad de los suplementos proporcionados en la etapa previa al empadre, se relaciona con un aumento en la entrada de

nutrientes a nivel celular que estimulan la secreción de hormonas gonadotrópicas o que bien, que actúan directamente a nivel ovárico incrementando la actividad del ovario (Cox *et al.*, 1987; Scaramuzzi *et al.*, 2006). Los resultados indican que la AOT-1, obtuvo valores mayores en el tratamiento con nivel alto de suplementación con proteína no degradable en rumen, y que AOT-2 también respondió mejor con el nivel alto de suplementación de PNDR, comparando con la respuesta cuando no se suplementaron los animales.

Se encontró que, el número de Folículos Totales se encontraban en mayor número en el nivel alto de proteína no degradable en rumen, al igual que en el caso de la Condición Corporal mayor. Esto podría explicarse debido a la mayor disponibilidad de elementos nutritivos en estas dos condiciones aunado al incremento en el número y tamaño de los microvilli en los folículos de tamaño mediano y grande que se encargan de la captación de componentes nutritivos del oocito y que continúan aumentando a lo largo de las fases tardías de la oogénesis, además que se ha implicado directamente a los IGF's con la iniciación y crecimiento temprano del folículo (Guraya, 1996).

Moor y Smith (1979), demostraron que existe una tasa constante de captación de aminoácidos en los folículos de oocitos que tienen diámetro mayor de 3.5 mm y que esta captación, sólo aumenta durante la segunda metafase meiótica. Tal como en la mayoría de los oocitos de mamíferos, en la cabra también se observa una temporal dilatación del retículo endoplásmico en la mayor parte del ooplasma en esta etapa (Cran *et al.*, 1980); estas variaciones ocurren en las fases transitorias de almacenamiento de nutrientes adquiridos por las células circundantes de la granulosa (Norrevang, 1968), mientras que en las etapas finales de crecimiento del folículo se conoce la influencia esencial de las gonadotropinas para su desarrollo, también han aumentado las evidencias de que los IGF's poseen influencia en esta etapa a través de su efecto en el crecimiento y desarrollo celular.

Sharma y Chowdhury (1998), encontraron que la distribución de las mitocondrias en el oocito de folículos antrales grandes de cabras, determina el eficaz intercambio de metabolitos entre el microambiente y el retículo endoplásmico, lo cual, explica la mayor actividad de las mitocondrias en las fases tardías de desarrollo

folicular. La presencia de vesículas con moléculas de glicógeno y de gotitas de lípidos en el oocito de la cabra, se incrementan conforme avanza el estado de desarrollo folicular y son requeridas para sostener la vida del oocito después de la fertilización. Este fenómeno se ha observado en folículos de otros mamíferos pero con proporciones diferentes dependiendo de la especie (Sharma y Chowdhury, 1998).

La formación del cuerpo lúteo después de la ovulación, involucra cambios en la morfología y en la estructura celular e implica cambios en la síntesis de hormonas esteroides. Existen evidencias claras que implican un papel esencial de los IGF's en el tejido luteal. En algunos estudios (Tokach *et al.*, 1992, Pettigrew 1998), realizados con varios niveles de lisina y energía en la dieta, se encontraron aumentos en las concentraciones de LH, aunque la respuesta fue mayor al incrementar el nivel de energía, pero esto podría coincidir con el hecho de que la variable Cuerpos Lúteos Totales del presente estudio mostró un incremento en su número cuando la suplementación con proteína no degradable en rumen era de nivel alto.

Tanto el IGF-I como el IGF-II, tienen un efecto estimulante en la secreción de progesterona por el cuerpo lúteo de diversos mamíferos y también, los IGFs tienen funciones adicionales en la angiogénesis y en la apoptosis. Se ha encontrado que la interacción entre el receptor a IGF con IGF-I o con IGF-II protege a diferentes tipos celulares, incluyendo células ováricas de la apoptosis. Los resultados en los niveles de concentración sérica de IGF-I, se deben valorar de acuerdo con diversos factores tales como edad y sexo. También, debe considerarse el hecho de que, debido a su vida media larga, sus concentraciones suelen fluctuar poco (Schams *et al.*, 2002).

En los resultados de este estudio se encontró que los niveles circulantes de IGF-I en plasma sanguíneo se incrementan cuando el nivel de suplementación con proteína de no degradable en rumen es mayor. Dichos resultados no coinciden con lo encontrado en ovinos por Scaramuzzi *et al.*, (2006) quienes mencionan que una suplementación de corto plazo (cinco días) ya sea de glucosa o lupinus no generó un incremento en los niveles plasmáticos de IGF en ovejas. Sin embargo, un aspecto importante a tener en consideración además de el efecto benéfico de IGF-I sobre la esteroidogénesis, la actividad ovárica y el incremento en la presencia de estructuras

ováricas, es lo reportado por Scaramuzzi *et al.*, (2006) quienes proponen al sistema IGF como una molécula de enlace clave entre la nutrición y el comportamiento reproductivo, particularmente bajo esquemas de suplementación nutricional de largo plazo. En el mismo sentido, IGF-I se ha correlacionado directamente con el peso al nacimiento (Juul *et al.*, 1995), lo cual puede a su vez relacionarse con una tasa mayor de sobrevivencia de las crías.

El resultado de esta investigación, concuerda con lo dicho por Martin (2005), en el sentido de que, se pueden mejorar enormemente muchos aspectos reproductivos, mediante el conocimiento de las respuestas fisiológicas de los animales a factores tales como la nutrición, el fotoperiodo y los estímulos socio-sexuales, sin la necesidad de aplicar medicamentos y hormonas de origen exógeno. De esta forma, el empleo de técnicas "limpias, verdes y éticas" en el manejo de la ganadería, podrían hacer mas eficiente y rentable la producción animal. Al mismo tiempo, la imagen de nuestros productos, ante el mercado podría generar un impacto positivo en la demanda, y el caprinocultor estaría en posibilidad de obtener un ingreso constante y más seguro.

VII. CONCLUSIONES

La suplementación de cabras adultas, con proteína no degradable en rumen así como el mantenerlas en una buena condición corporal en la etapa previa al empadre, mejora la respuesta en el nivel de actividad ovárica y establecimiento de cuerpo lúteo. Paralelamente, la condición corporal y el nivel nutricional de las cabras promueven una mejoría en los niveles circulantes de IGF-I, quien, en turno, podría actuar de manera sinérgica junto con gonadotropinas y metabolitos, mejorando la eficiencia en la actividad fisiológica del ovario.

Esto significa que la hembra caprina suplementada con proteína de sobrepeso (efecto dinámico) o en mejor condición corporal/peso vivo (efecto estático), tendrá tanto una mayor capacidad en la función ovárica así como en su respuesta endocrina a la secreción de hormonas metabólicas como es el caso del incremento en los niveles séricos del factor de crecimiento análogo a insulina tipo 1 (IGF-1) observada en el presente estudio.

Por lo anterior, tanto el efecto estático (peso vivo/condición corporal), como el efecto dinámico de la nutrición por suplementación con proteína no degradable en rumen, pueden promover un estado metabólico endocrino caracterizado por incrementos en los niveles séricos de IGF-I, lo cual redundará en una mayor actividad ovárica en cabras localizadas a 25° LN. Restaría evaluar si dicho incremento en la actividad ovárica y en los niveles de IGF-I, resultado de los efectos estático y dinámico, actúan en sinergia con incrementos en los niveles de actividad del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, en una ruta que sea posiblemente independiente de GnRH.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adashi, E. Y. 1992.** Intraovarian peptides: Stimulators and inhibitors of follicular growth and differentiation. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North América.* 21:1-17.
- Baird, D. T., Campbell B. K., Mann G. E., and McNeilly A. S. 1991.** Inhibin and oestradiol in the control of FSH secretion in the sheep. *Journal of Reproduction and Fertility.* 43(Suppl):125-138.
- Barb, C. R., Campbell R. M., Armstrong J. D. and Cox N. M. 1996.** Aspartate and glutamate modulation of growth hormone secretion in the pig: Possible site of action. *Domestic Animal Endocrinology.* 13:81-90.
- Bearden, H. J., and Fuquay J. W. 2000.** *Applied Animal Reproduction.* 5th edition, Prentice Hall. New Jersey. 57-70.
- Bhagwat, S. R., and Srivastava A. 1993.** Effect of feeding unprotected and protected soybean cake on growth, feed conversion efficiency and certain blood constituents of calves. *Indian Journal of Dairy Science.* 46(6):237-243.
- Bloomfield, F. H., Oliver M. H., Hawkins P., Campbell M., Phillips D. J., Gluckman P. D., Challis J. R. G., and Harding J. E. 2003.** A periconceptional nutritional origin for noninfectious preterm birth. *Science.* 300(5619):606. Abstract.
- Chamorro, D., Gallo J., Arcos J. y Vanegas M. 1998.** Gramíneas y Leguminosas, consideraciones agrozootécnicas para ganaderías del trópico bajo. *Boletín de investigación. CORPOICA. Regional 6. Doc. 18405 Capítulo 6. Colombia.* 139-154.
- Chaturvedi, O. H., and Walli T. K. 1999.** Effect of feeding graded levels of UDP on the flow rate of microbial N, dietary NAN and amino acid N at abomasums in crossbred calves. *Indian Journal of Animal Sciences* 69(12):1048-1052.
- Chernausek, S. D., Jacobs S., and Van Wyk J. J. 1981.** Structural similarities between human receptors for somatomedin C and insulin: Analysis by affinity labelling. *Biochemistry.* 20:7345-7350.
- Clanton, D. C. 1978.** Non-protein nitrogen in range supplement. *Journal of Animal Science.* 47 (4):765-779.
- Clemmons, D. R., and J. J. Van Wyk. 1985.** Evidence for a functional role of endogenously produced somatomedin-like peptides in the stimulation of human fibroblast and porcine smooth muscle cell DNA synthesis. *The Journal of Clinical Investigation.* 75:1914-1918.
- Cox, N. M., Stuart M. J., Althen T. G., Bennet W. A., and Miller H. W. 1987.** Enhancement of ovulation rate in gilts by increasing dietary energy and administering insulin during follicular growth. *Journal of Animal Science.* 64:507-516.
- Cran, D. G., Moor R. M., and Hay M. F. 1980.** Fine structure of the sheep oocyte during antral follicle development. *Journal of Reproduction and Fertility.* 59:125-132.

- Daughaday, W. H., Hall K., Raben M. S., Salmon W. D., Van Den Brande J. L. and Van Wyk J. 1972.** Somatomedin: A proposed designation for the "sulfation factor". *Nature*. 235:107. Abstract.
- Davidson, R. T., Chamberlain S. C., Bridges S. T. and Spicer J. L. 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 cells. *Biology of Reproduction*. 66:1640-1648.
- de Castro, T., Rubianes E., Menchaca A., and Rivero A. 1999.** Ovarian dynamics, serum estradiol and progesterone concentrations during the interovulatory interval in goats. *Theriogenology*. 52:399-411.
- D'Ercole, A. J., Stiles A. D., and Underwood L. E. 1984.** Tissue concentrations of somatomedin C: Further evidence for multiple sites of synthesis and paracrine or autocrine mechanisms of action. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 81:935-939.
- Devendra, C. 1981.** Potential of sheep and goats in less developed countries. *Journal of Animal Science*. 51:461-469.
- Downing, J. A. and Scaramuzzi R. J. 1991.** Nutrient effects on ovulation rate, ovarian function and the secretion of gonadotrophin and metabolic hormones in sheep. *Journal of Reproduction and Fertility*. 43:209-227.
- Evans, A. C. O., and Fortune J. E. 1997.** Selection of the dominant follicle in cattle occurs in the absence of differences in the expression of messenger ribonucleic acid for gonadotropin receptors. *Endocrinology*. 138(7):2963-2971.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1987.** Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Tecnología de la producción caprina. Santiago. Chile.
- Galina, M. A., Silva E., Morales R., and López B. 1995.** Reproductive performance of Mexican dairy goats under various management systems. *Small Ruminant Research*. 18:249-253.
- García, A., Thiex N., Kalscheur K., and Tjardes K. 2005.** Interpretación del análisis del ensilaje de maíz. *Extensión Extra*. College of Agriculture & Biological Sciences. South Dakota State University. USDA. 1-3..
- Gibbons, J. R., Kot K., Thomas D. L., Wiltbank M. C., and Ginther O. J. 1999.** Follicular and FSH dynamics in ewes with a history of high and low ovulation rates. *Theriogenology*. 52:1005-1020.
- Ginther, O. J., and Kot K. 1994.** Follicular dynamics during the ovulatory season in goats. *Theriogenology*. 42:987-1001.
- Goeters, C., Mertes N., Tacke J., Bolder U., Kuhmann M., Lawin P. and Löhlein D. 1995.** Repeated administration of recombinant human insulin-like growth factor-I in patients after gastric surgery. Effect on metabolic and hormonal patterns. *Annals of Surgery*. 222(5):646-653.

- González de Bulnes, A., Santiago Moreno J., and López Sebastián A. 1998.** Estimation of fetal development in Manchega dairy ewes by transrectal ultrasonographic measurements. *Small Ruminant Research*. 27:243-250.
- Goodman, R. L., Gibson M Skinner D. C and Lehman M. N. 2002.** Neuroendocrine control of pulsatile GnRH secretion during the ovarian cycle: evidence from the ewe. *Reproduction*. 59(Suppl):41-56.
- Griffin, P. G. and Ginther O. J. 1992.** Research applications of ultrasonic imaging in reproductive biology. *Journal of Animal Science*. 70:953-972.
- Gutierrez, A. C. 2001.** Influencia de la nutrición en la reproducción. En *II Curso Internacional: Fisiología de la Reproducción en Rumiantes*. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 155-166.
- Hamilton, T. 1991.** Basic Beef Cattle Nutrition. Factsheet. Ontario Ministry of Agriculture and Food. Guelph, Ontario, Canadá.
- Harris, B. 1993.** Feeding for maximum reproductive performance. *Agri-Practice*. 14(3):39-41.
- Hedge, A. D. H., Colby D. H. and Goodman L. R. 1987.** *Clinical Endocrine Physiology*. W. B. Saunders Company. Part III. Chapter 9.
- Hengartner, M. O. 2000.** The biochemistry of apoptosis. *Nature*. 407:770-776.
- Holtzman E. and Novikoff A. B. 1986.** *Estructura y Dinámica Celular*. 3ª ed. en español. Interamericana. México. D.F. 484-485.
- Ianson, H., and Legan S. J. 1988.** Changes in LH pulse frequency and serum progesterone concentrations during the transition to breeding season in ewes. *Journal of Reproduction and Fertility*. 82:341-351.
- Israf, D. A., Coop R. L., Stevenson L. M., Jones D. G., Jackson F., Jackson E., MacKellar A., and Huntley J. F. 1996.** Dietary protein influences upon immunity to *Nematodirus battus* infection in lambs. *Veterinary Parasitology*. 61:273-286.
- Juul, A., Dalgaard P., Blum W. F., Bang P., Hall K., Michaelsen K. F., Müller J., and Skakkebaek N. E. 1995.** Serum levels of insulin-like growth factor (IGF)-binding protein-3 (IGFBP-3) in healthy infants, children, and adolescents: The relation to IGF-1, IGF-II, IGFBP-I, IGFBP-2, age, sex, body mass index and pubertal maturation. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, Clinical and Experimental*. 80:2534-2542.
- Kaipia, A., and Hsueh A. J. 1997.** Regulation of ovarian follicle atresia. *Annual Review of Physiology*. 59:349-363
- Karsch, F. J., Moenter S. M., and Caraty A. 1992.** The neuroendocrine signal for ovulation. *Animal Reproduction Science*. 28:329-341.
- Kasuga, M., Van Obberghen E., Nissley S. P., and Rechler M. M. 1981.** Demonstration of two subtypes of insulin-like growth factor receptors by affinity cross-linking. *Journal of Biological Chemistry*. 256(11):5305-5308.

- Ketelslegers, J. M., Maiter D., Maes M., Underwood L.E. and Thissen J.P. 1995.** Nutritional regulation of insulin like growth factor-I. *Metabolism, Clinical and Experimental.* 44(10 suppl 4):50-57.
- Langman 's Medical Embryology, (Sadler T. W.). 2004.** Embriología Médica con Orientación Clínica. 9ª ed. en español. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires. Argentina. 19-31, 129-131.
- Le Roith, D. L., and Butler A. A. 1999.** Insulin like growth factors in pediatric health and disease. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 84(12):4355-4361.
- Llewelyn, C. A., Oгаа J. S., and Obwolo M. J. 1993.** Plasma progesterone profiles and variation in cyclic ovarian activity throughout the year in indigenous goats in Zimbabwe. *Animal Reproduction Science.* 30:301-311.
- López, S. A., González B. A. and Santiago J. M. 2001.** Manejo de pequeños rumiantes. Memorias del II Curso Internacional. Fisiología de la Reproducción en Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 1-21.
- Lorenzo, M., Valverde A. M., Teruel T., Navarro P. and Benito M. 1996.** Role of IGF-I/Ras in foetal brown adipocytes differentiation: a novel thermogenic mechanism. *Ars Pharmaceutica.* 37:753-760.
- Magnen, J. L. 1983.** Body energy balance and food intake: a neuroendocrine regulatory mechanism. *Physiological Reviews.* 64(1):314-386.
- Malpaux, B., Delgadillo J. A. y Chemineau P. 1997.** Neuroendocrinología del fotoperiodo en el control de la actividad reproductiva. En: Seminario Internacional "Tópicos Avanzados de Reproducción Animal". Colegio de Postgraduados-Chapingo. México. 23-42.
- Markstrom, E., Svensson E. Ch., Shao R., Svanberg B., and Billig H. 2002.** Survival factors regulating ovarian apoptosis, dependence on follicle differentiation. *Reproduction.* 123:23-30.
- Martin, B. G. 2005.** Métodos "limpios, verdes y éticos" para aumentar la eficiencia reproductiva en pequeños rumiantes. In: Memoria del XXVI Aniversario del programa en Ganadería. IV Curso Internacional: Reproducción en Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 1-15.
- Martin, B. G., y Blache D. 2004.** Biotecnología y Reproducción de pequeños rumiantes, una perspectiva. In: Memoria del XXV Aniversario del programa en Ganadería. La Biotecnología en la Ganadería del Siglo XXI. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 68-81.
- Martin, B. G., Rodger J., and Blache D. 2004.** Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reproduction, Fertility and Development.* 16:491-501.
- Massague, J., and Czech M. P. 1982.** The subunit structures of two distinct receptors for insulin-like growth factors I and II and their relationship to the insulin receptor. *Journal of Biological Chemistry.* 257(9):5038-5045.

- McDonald, P., Edwards R. y Greenhalgh J. F. D. 1988.** Nutrición Animal. 4ª edición. Acribia. España.
- Meza-Herrera, C. A. 2003.** Desarrollo folicular, luteogénesis y esteroidogénesis. Arquitectura y función del cuerpo lúteo. In: Memoria del XXVI Aniversario del programa en Ganadería. IV Curso Internacional: Reproducción en Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 313-325.
- Meza-Herrera, C. A., J. M. Sanchez S., J. G. Chavez-Perches, H. Salinas and M. Mellado. 2004.** Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. South African Journal of Animal Science. 34(Suppl. 1):223-226.
- Meza-Herrera, C. A., Salinas H. and M. Mellado. 2005.** Aminoácidos neuroexcitadores y función ovárica en cabras: efectos en el perfil de hormonas gonadotrópicas y metabólicas. In: Memoria del XVII Aniversario del programa en Ganadería. III Curso Internacional: Fisiología de la Reproducción en Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 189-202.
- Meza-Herrera, C. A., Ross T., Hawkins D. and D. Hallford. 2006.** Interactions between metabolic status, pre-breeding protein supplementation, uterine pH, and embryonic mortality in ewes: Preliminary observations. Tropical Animal Health and Production. 38:407-413.
- Minson D. 1990.** Forage in ruminant nutrition. Academic Press. Cap VI. 162-207.
- Moller, N., Jorgensen J. O., Moller J., Orskov L., Ovesen P., Schmitz O. and Christiansen J. S. 1995.** Metabolic effects of growth hormone in humans. Metabolism, Clinical and Experimental. 44(10 suppl 4):33-36.
- Moor, R. M., and Smith M. W. 1979.** Amino acid transport in mammalian oocytes. Experimental Cell Research. 119:333-341.
- Muñoz-Gutiérrez, M., Blache D., Martin G. B. and Scaramuzzi R. J. 2002.** Folliculogenesis and the ovarian expression of mRNA for aromatase in anoestrous sheep after 5 days of glucose or glucosamine infusion or supplementary lupin feeding. Reproduction 124:721-731.
- Norrevang, A. 1968.** Electron microscopic morphology of oogenesis. International Review of Cytology. 23:114-186.
- NRC. 1981.** Nutrient requirements of goats: Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press. Washington, D. C.
- O'Callaghan, D., and Boland M. P. 1999.** Nutritional effects on ovulation, embryo development and the establishment of pregnancy in ruminants. Journal of Animal Science. 68:299-314.
- O'Callaghan, D., Yaakub H., Hyttel P., Spicer L. J., and Boland M. P. 2000.** Effect of nutrition and superovulation on oocyte morphology, follicular fluid composition and systemic hormone concentrations in ewes. Journal of Reproduction and Fertility. 118:303-313.
- Ocampo, J. R. 2005.** Introducción: Quién es quien en la caprinocultura mexicana. Revista Ganadero. Edición especial de julio de 2005. 2-6.

- Parr, R. A., Davis I. F., Miles M. A. and Squires T. J. 1993.** Liver blood flow and metabolic clearance rate of progesterone in sheep. *Research in Veterinary Science.* 55:311-316.
- Pelletier, J., Chemineau P., Thimonier J. and Volland-Nail P. 1987.** Environment and changes in reproductive activity in sheep and goats. In: *Comparative physiology of environmental adaptations (Vol. 3); adaptations to climatic changes.* Edit Karger, Basel-Switzerland. 121-135.
- Pettigrew, J. E. 1998.** In: *Proceedings of the 15th IPVS Congress.* Birmingham. Reino Unido. 319-323.
- Pichard C. 1995.** Place des facteurs hormonaux anabolisants lors de chirurgie chez l'adults. *Annales Francaises d' Anesthesie et de Reanimation.* 14 suppl 2:95-101.
- Pimstone, B. L., Barbezat G., Hansen J. D. and Murray P. 1968.** Studies on growth hormone secretion in protein-calorie malnutrition. *American Journal of Clinical Nutrition.* 21:482.
- Platt, B. S., Heard C. R. C. and Stewart R. J. 1964.** Experimental protein calorie deficiency. *Mammalian protein metabolism.* Vol 2. Academic Press. New York. 446-521.
- Quesnel, H., Pasquier A., Mounier A. M., Louveau I. and Prunier A. 1998.** Influence of feed restriction in primiparous lactating sows on body condition and metabolic parameters. *Reproduction, Nutrition and Development.* 38(3):261-274.
- Restall, B. J., Brown G. H., Blockey M. A. de B., Cahill L., and Kearins R. 1976.** Assessment of reproductive wastage in sheep. 1. Fertilisation failure and early embryo survival. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry.* 16:329-335.
- Rhind, S. M., McKelvey W. A. C., McMillen S., Gunn R. G., and Elston D. A. 1989.** Effect of restricted food intake, before and/or after mating, on the reproductive performance of Greyface ewes. *Animal Production.* 48:149-155.
- Rodgers, H. F. I., Van Wezel I. L., Mussard M. L., Kinder J. E., and Rodgers R. J. 2001.** Atresia revisited: Two basic patterns of atresia of bovine antral follicles. *Reproduction.* 122:761-775
- Roig, C. A. 2003.** Alimentación del ganado caprino. INTA. EEA Colonia Benítez. Chaco. Argentina. 1-22.
- Rubianes, E. 2000.** Avances en el conocimiento de la fisiología ovárica de los pequeños rumiantes y su aplicación para el manejo reproductivo. *Actas de Fisiología.* 6:93-103.
- Rubianes, E., Ungerfeld R., Viñoles C., Rivero A., and Adams G.P. 1997.** Ovarian response to gonadotropin treatment initiated relative to wave emergence in ultrasonographically monitored ewes. *Theriogenology.* 47:1479-1488.
- Russel, A. J. F., Doney, J.M., and Gunn, R. G. 1969.** Subjective assessment of body fat in sheep. *Journal of Agricultural Science.* Cambridge. 72:451-454.
- Rzedowski, J. 1994.** Vegetación de México. *Distribución Geográfica de climas en México de acuerdo con la clasificación climática de Köeppen.* Limusa. Noriega Editores. D. F. México. 35.

- Saharrea, A., Valencia J., Balcazar A., Mejia O., Cerbón J. L., Caballero V., and Zarco L. 1998.** Premature luteal regresión in goats superovulated with PMSG: Effect of hCG or GnRH administration during the early luteal phase. *Theriogenology*. 50:1039-1052.
- Sahoo, B., and Walli T. K. 2001.** Nutrient utilization and growth performance of crossbred goats fed on low and high bypass protein supplemented with molasses as energy source. In *Proceedings of X Animal Nutrition Conference*. Abstract. India. 132.
- Sanson, D. W. 1993.** Effects of supplementation on intake and utilization on harvested forage. *Proc. Range Beef Cow Symposium XIII*. December 6, 7 & 8. Cheyenne, WY. 66-80.
- Sanson, D. W. and Halford, D. M. 1984.** Growth response, carcass characteristics and serum glucose and insulin in lambs fed tolazamide. *Nutrition Reports International*. 29(2):461-471.
- Santos, F. P., and Huber J. T. 1996.** Quality of bypass protein fed to high-producing cows is important. *Feedstuffs*. Agosto 12. 12-15.
- SAS. 1989.** SAS User's Guide: Statistics. 5th edition. Cary NC: SAS Inst. Inc.
- Sauveur, B., and Riviers M. 1992.** Reproducción de las aves. Mundi Prensa. Cap II, III. Madrid. España.
- Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutierrez, M., and Somchit, A. 2006.** A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction, Nutrition and Development*. 46:339-354.
- Scott, R. 1994.** Enhancement of protein synthesis efficienci in parenterally fed trauma victims by adjuvant recombinant human growth hoemone. *Journal of Trauma*. 36(5):726-733.
- Schams, D., Berisha B., Kosmann M., and Amselgruber W. M. 2002.** Expression and localization of IGF family members in bovine antral follicles during final growth and in luteal tissue during different stages of estrous cycle and pregnancy. *Domestic Animal Endocrinology*. 22:51-72.
- Sengar, O. P. S. 1980.** Indian research on protein and energy requirements of goats. *Journal of Dairy Science*. 63(10):1655-1670.
- Serradilla, J. M. 2001.** Use of high yielding goat breeds for milk production. *Livestock Production Science*. 71:59-73.
- Sharma, R. K., and Chowdhury S. 1998.** Ultrastructure changes in the oocytes of caprine antral follicles. *Indian Journal of Animal Science*. 68(4):332-336.
- Singh, N., and Mudgal V. D. 1978.** Studies on endogenous urinary nitrogen, metabolic fecal nitrogen and maintenance requirement for protein in dairy goats. *Proc. 20th International Dairy Congres*. Paris France.
- Smith, M. F., McIntush E. W. and Smith G. W. 1994.** Mechanisms associated with Corpus Luteum development. *Journal of Animal Science*. 72:1857-1872.

- SPP. 1981.** Carta Fisiográfica del estado de Durango. Primera Reimpresión. México, D.F.
- Stewart, R., and Oldham, C. M. 1986.** Feeding lupins to ewes for four days during the luteal phase can increase ovulation rate. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production.* 16:367-370.
- Tata, J. R. 1997.** Hormonal signaling and postembryonic development. Landes Bioscience. Austin Texas.
- Thiéry, J. C., Chemineau P., Hernández X., Migaud M., and Malpeaux. 2002.** Neuroendocrine interactions and seasonality. *Domestic Animal Endocrinology.* 23:87-100.
- Thissen, J. P., Ketelslegers J. M., and Underwood L. E. 1994.** Nutritional regulation of the insulin-like growth factors. *Endocrinology Reviews.* 15:80-101.
- Tokach, M. D., Pettigrew J. E., Dial G. D., Wheaton J. E., Crooker B. A., and Johnston L. J. 1992.** Characterization of luteinizing hormone secretion in the primiparous lactating sow: Relationship to blood metabolites and return-to-estrus-interval. *Journal of Animal Science.* 70:2195-2201.
- Valenzuela, N. 2004.** Relaciones temporales entre el inicio del estro, pico preovulatorio de LH, momento de ovulación y fertilidad en cabras sincronizadas con MGA y benzoato de estradiol. Tesis de Maestría. Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. UNAM. 4-27.
- Viñoles, C., Banchemo G., and Rubianes E. 1999.** Follicular wave pattern and progesterone concentrations in cycling ewes with high and low body condition score. *Theriogenology.* 51:437 abstract.
- Walli, T. K. 2005.** Bypass protein technology and the impact of feeding bypass protein to dairy animals in tropics: A review. *Indian Journal of Animal Science.* 75(1):135-142.
- Walli, T. K., and Sirohi S. K. 2004.** Evaluation of heat treated (roasted) soybean on lactating cross breed cows. Project Report of the Collaborative Project between National Dairy Research. Research Institute, Karnal and American Soybean Association. New Delhi.
- Walli, T. K., Dass M. M., Rai S. N., and Garg M. R. 2000.** Effect of heat treatment on protein degradability, N solubility and Ammonia release of groundnut cake and soybean meal. *Indian Journal of Animal Science.* 57(5):361-368.
- Wattiaux, M. A., and Grummer R. R. 2002.** Nutrición y Alimentación. Metabolismo de lípidos en vacas lecheras. Instituto Babcock. University of Wisconsin Madison. USA.
- Weissman, Ch. 1990.** The metabolic response to stress: An overview and update. *Anesthesiology.* 73:308-327.
- Wilcox, A. J., Baird D. D., and Weinberg C. R. 1999.** Time of implantation of the conceptus and loss of pregnancy. *New England Journal of Medicine.* 340(23):1796-1799.
- Williams, S. A., Blache D., Martin G. B., Foot R., Blackberry M. A., and Scaramuzzi R. J. 2001.** Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. *Reproduction.* 122:947-956.

- Wiltbank M. C. 1994.** Cell types and hormonal mechanisms associated with mid-cycle Corpus Luteum function. *Journal of Animal Science.* 72:1873-1883.
- Wuttke, W., Theiling K., Hinney B. and Pitzel L. 1998.** Regulation of steroid production and its function within the corpus luteum. *Steroids.* 63:299-305.
- Zhao, X. and Donovan S. M. 1995.** Combined growth hormone (GH) and insulin-like factor-I (IGF-I) treatment is more effective than GH or IGF-I alone at enhancing recovery from neonatal malnutrition in rats. *Journal of Nutrition.* 125(11):2773-2786.
- Zulu, V. C, Nakao, T., and Sawamukai, Y. 2002.** Insulin-like growth factor-I as a possible hormonal mediator of nutritional regulation of reproduction in cattle. *Journal of Veterinary Medical Sciences.* 64(8):657-665.

VIII. ANEXOS

Apéndice 1. Pesos de las cabras según condición corporal y nivel de proteína utilizado, iniciando a partir de la dieta ofrecida para la formación de los grupos experimentales

CC ¹ -NP ²	ID ³	PV ⁴ Julio-7	PV ⁴ Agos-4	PV ⁴ Agos-11	PV ⁴ Septi-1	PV ⁴ Septi-22	PV ⁴ Octu-7
1 1	28	27.00	24.50	25.00	24.50	23.00	23.00
1 1	5	31.50	31.50	33.00	34.50	32.00	32.50
1 1	19	29.50	31.50	32.00	32.50	32.50	32.50
1 1	29	26.00	25.50	25.00	25.50	25.00	23.50
1 1	13	31.50	31.50	31.00	35.00	33.00	35.00
1 1	30	26.00	27.50	27.00	25.00	22.50	19.50
1 1	22	26.50	27.50	27.00	28.50	27.50	27.00
1 1	26	33.00	29.00	31.00	31.00	31.00	29.00
1 2	20	26.30	26.50	27.00	28.50	30.00	28.00
1 2	23	31.00	28.50	31.00	31.00	31.00	30.50
1 2	25	28.50	29.00	30.00	29.00	29.50	28.50
1 2	15	26.30	28.50	27.00	30.00	31.75	32.00
1 2	31	30.50	30.25	29.00	31.00	32.50	33.00
1 2	8	28.30	24.50	28.00	28.00	27.50	27.00
1 2	17	32.50	28.50	29.00	29.00	30.25	28.50
1 2	14	30.00	30.00	29.00	32.50	31.50	31.00
2 1	7	32.50	32.50	33.00	35.00	35.50	34.50
2 1	6	36.00	37.50	37.00	39.50	38.00	39.50
2 1	9	34.50	38.50	37.00	41.00	39.50	40.50
2 1	10	32.00	34.50	33.00	34.50	34.00	35.50
2 1	18	31.00	32.50	34.00	35.50	35.50	37.50
2 1	32	32.00	35.00	36.00	36.00	36.00	34.50
2 1	1	33.00	35.00	35.00	35.00	37.00	37.00
2 1	3	36.00	37.50	35.00	38.00	39.00	40.00
2 2	4	41.50	45.50	43.00	49.00	49.00	48.00
2 2	2	30.75	32.50	29.00	36.00	36.00	35.50
2 2	12	34.50	37.50	38.00	40.50	42.00	42.00
2 2	27	28.50	28.50	31.00	33.50	33.50	33.00
2 2	16	38.00	38.75	38.00	43.00	44.50	44.50
2 2	24	31.00	33.50	33.00	33.00	34.50	34.50
2 2	11	36.00	37.50	37.00	40.50	40.50	40.00
2 2	21	33.50	34.50	33.00	37.50	38.50	39.00

- 1 Condición corporal
2 Nivel de Proteína
3 Identificación de la cabra
4 Peso Vivo

Apéndice 2. Número de folículos observados mediante ultrasonografía en ovario izquierdo, ovario derecho, folículos totales y cuerpos lúteos totales, según condición corporal y nivel de proteína utilizado

CC ¹ -NP ²	ID ³	Folículos en Ovario Izquierdo	Folículos en Ovario Derecho	Folículos Totales	Cuerpos Lúteos Totales
1 1	28	0	0	0	2
1 1	5	1	1	2	2
1 1	19	2	1	3	2
1 1	29	1	1	2	3
1 1	13	1	1	2	0
1 1	30	1	1	2	1
1 1	22	2	2	4	1
1 1	26	1	1	2	1
1 2	20	2	1	3	2
1 2	23	1	1	2	2
1 2	25	1	1	2	2
1 2	15	1	1	2	1
1 2	31	2	0	2	3
1 2	8	1	2	3	2
1 2	17	1	1	2	3
1 2	14	1	1	2	3
2 1	7	1	2	3	3
2 1	6	1	1	2	2
2 1	9	1	0	1	2
2 1	10	2	2	4	2
2 1	18	0	0	0	2
2 1	32	1	0	1	4
2 1	1	1	0	1	4
2 1	3	2	0	2	2
2 2	4	2	1	3	3
2 2	2	2	2	4	2
2 2	12	1	2	3	4
2 2	27	2	2	4	3
2 2	16	0	1	1	2
2 2	24	1	2	3	3
2 2	11	2	2	4	4
2 2	21	1	2	3	3

¹ Condición corporal

² Nivel de Proteína

³ Identificación de la cabra

Apéndice 3. Estructuras ováricas totales observadas mediante ultrasonografía, según condición corporal y nivel de proteína utilizado

CC ¹ -NP ²	ID ³	FT ⁴	Folículos		CLT ⁵	ET ⁶
			≤ 5 mm	> 5 mm1		
1 1	28	0	0	0	2	2
1 1	5	2	2	0	2	4
1 1	19	3	3	0	2	5
1 1	29	2	2	0	3	5
1 1	13	2	2	0	0	2
1 1	30	2	2	0	1	3
1 1	22	4	3	1	1	5
1 1	26	2	2	0	1	3
1 2	20	3	3	0	2	5
1 2	23	2	2	0	2	4
1 2	25	2	2	0	2	4
1 2	15	2	1	1	1	3
1 2	31	2	2	0	3	5
1 2	8	3	2	1	2	5
1 2	17	2	1	1	3	5
1 2	14	2	2	0	3	5
2 1	7	3	2	1	3	6
2 1	6	2	0	2	2	4
2 1	9	1	0	1	2	3
2 1	10	4	3	1	2	6
2 1	18	0	0	0	2	2
2 1	32	1	1	0	4	5
2 1	1	1	1	0	4	5
2 1	3	2	0	2	2	4
2 2	4	3	2	1	3	6
2 2	2	4	3	1	2	6
2 2	12	3	2	1	4	7
2 2	27	4	2	2	3	7
2 2	16	1	1	0	2	3
2 2	24	3	2	1	3	6
2 2	11	4	2	2	4	8
2 2	21	3	0	3	3	6

- 1 Condición corporal
2 Nivel de Proteína
3 Identificación de la cabra
4 Folículos Totales
5 Cuerpos Lúteos Totales
6 Estructuras Totales