



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**



**RESPUESTA AL ESTRO Y POBLACIÓN FOLICULAR DE CABRAS  
SUPLEMENTADAS CON PROPIONATO DE CALCIO EN LA ESTACIÓN  
REPRODUCTIVA**

**Por:**

**Fulgencio Rodríguez Ferretiz**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero  
Agrónomo Zootecnista**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Noviembre de 2013

El trabajo titulado " **RESPUESTA AL ESTRO Y POBLACIÓN FOLICULAR DE CABRAS SUPLEMENTADAS CON PROPIONATO DE CALCIO EN LA ESTACIÓN REPRODUCTIVA** " fue realizado por: Fulgencio Rodríguez Ferretiz " como requisito parcial para obtener el título de "Ingeniero Agrónomo Zootecnista " y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

**Dr. Camelia Alejandra Herrera Corredor**

**Asesor**

---

**Dr. Héctor Aarón Lee Rangel**

**Cooasesor**

---

**Dr Marco Antonio Rivas Jacobo**

**Cooasesor**

---

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a 29 días (s) del mes de Noviembre de 2013



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**



**RESPUESTA AL ESTRO Y POBLACIÓN FOLICULAR DE CABRAS  
SUPLEMENTADAS CON PROPIONATO DE CALCIO EN LA ESTACIÓN  
REPRODUCTIVA**

**Por:**

**Fulgencio Rodríguez Ferretiz**

**ASESOR: Dr. Camelia Alejandra Herrera Corredor**

**COASESOR: Dr. Héctor Aarón Lee Rangel**

**COASESOR: Dr Marco Antonio Rivas Jacobo**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero  
Agrónomo Zootecnista**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por haberme dado la oportunidad de concluir una etapa más en mi vida y por darme los mejores padres.

### **A mis padres**

Fulgencio y Jovita por su incansable dedicación, apoyo e incontables consejos y porque gracias a ellos soy lo que soy.

### **A mis hermanos**

Francisco Javier, Ma. Del Carmen, Rolando, Rebeca, Ma. Guadalupe, Ana Rosa y Juan Esteban, gracias por su apoyo incondicional.

### **A mis amigos**

Y a las personas que me han apoyado, a todos ellos por ser el motor de mis éxitos.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Por darme esta vida tan hermosa y por brindarme la oportunidad de llevarla plenamente y dejar que cumpla mis objetivos.

### **A mis padres**

Por su apoyo incondicional, paciencia, amor y todos sus buenos deseos.

### **A mis hermanos**

Francisco Javier, Ma. Del Carmen, Rolando, Rebeca, Ma. Guadalupe, Ana Rosa y Juan Esteban por siempre estar apoyándome y brindarme su ayuda.

### **A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

Por haberme brindado la oportunidad de terminar mi licenciatura como Ingeniero Agrónomo Zootecnista en la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

### **A mis asesores**

Dra. Alejandra Herrera Corredor, Dr. Héctor A. Lee Rangel y Dr. Marco A. Rivas Jacobo, por su apoyo incondicional y su gran tolerancia conmigo.

### **A mis profesores**

No solo por brindarme sus conocimientos, sino también por sus experiencias de vida que sirvieron para seguir adelante.

### **Al Centro de Selección y Reproducción Caprina del Gobierno del Estado de San Luis Potosí.**

Por las facilidades brindadas para la realización de ésta tesis.

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMARY.....	ix
JUSTIFICACIÓN.....	x
OBJETIVOS.....	xi
HIPOTESIS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
Ciclo Estral.....	3
Desarrollo Folicular.....	3
Reclutamiento.....	4
Selección.....	5
Dominancia.....	5
Factores que Afectan la Reproduccion.....	6
Fotoperiodo.....	6
Nutrición.....	7
Efecto Estático de la Nutrición.....	8
Efecto Dinámico de la Nutrición.....	8
Efecto Agudo de la Nutrición.....	8
Suplementación (flushing).....	8
Efecto de la Suplementación en el Desarrollo Folicular de Pequeños Rumiantes.....	9
Suplementación con Propionato de Calcio.....	10
Usos en la Producción Animal.....	11
Sincronización del Estro.....	11
Métodos de Sincronización.....	12
Progestágenos.....	12

CIDR y Esponjas Intravaginales con Progestágenos.....	12
Implante Subcutaneo.....	13
Prostaglandina (PGF2 $\alpha$ ).....	14
Efecto Macho.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Ubicación.....	16
Animales .....	16
Tratamientos y Alimentación .....	16
Manejo Reproductivo .....	17
Variables de Respuesta.....	17
Análisis Estadístico.....	18
RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	19
Inicio de Estro.....	19
Duración de estro.....	20
Porcentaje de sincronización de estro.....	20
No. de folículos de 4-5 mm y >6 mm de diámetro.....	21
Porcentaje de gestación.....	22
CONCLUSION.....	24
LITERATURA CITADA .....	25

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composicion y aporte nutricional de la dieta .....	16
2	No. de Foliculos de acuerdo a dos categorías, en cabras suplementadas con propionato de calcio.....	21

## RESUMEN

Con la finalidad de determinar el efecto de la suplementación con propionato de Calcio como fuente de energía antes del empadre, en la respuesta al estro y la población folicular en cabras, se utilizaron un total de 75 hembras de las razas Nubia y Alpina con una condición corporal promedio de 3 a 3.5. Los tratamientos consistieron en proporcionar una dieta integral, que contenía propionato de Calcio con T1=0%, T2=1% y T3=2% del total de la dieta, la cual se proporcionó a razón de 2.0 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, además recibieron agua a libre acceso. Las cabras se sincronizaron durante la estación reproductiva con dispositivos intravaginales (CIDR-Pfizer®; 0.3 g progesterona natural) los cuales permanecieron durante 9 días y se aplicaron 1.5 ml de Prostaglandina (Lutalyse®) 48 horas antes de retirar el CIDR. Seis horas después de retirado el CIDR, se detectó el estro con machos celadores provistos de mandil; al momento de detectado el estro, se realizó la revisión de los ovarios por ultrasonografía para determinar el número de folículos de 4-5 mm y > 6 mm de diámetro, presentes en su superficie. 24 h después de detectado el estro se realizó la inseminación artificial vía intrauterina, el diagnóstico de gestación se realizó 35 días después de la inseminación por ultrasonografía. La expresión del estro se retrasó en las cabras que consumieron la dieta con propionato de calcio T2 y T3 (35.5±3.9 horas y 40±4.2 horas, respectivamente). No hubo diferencias entre tratamientos ( $P>0.05$ ) en la duración del estro ni en el porcentaje de sincronización. El propionato de Calcio como precursor de glucosa, estimuló el desarrollo folicular y por lo tanto una mayor cantidad de folículos con posibilidades de ser fertilizados, reflejándose esto en el porcentaje de gestación.

## SUMMARY

In order to determine the effect of supplementation with calcium propionate as a source of energy before mating, in the response to estrus and follicular population in goats, we used a total of 75 female Nubian and Alpine with a condition average body 3 to 3.5. Treatments consisted of providing a complete diet which contained calcium propionate with T1 = 0%, T2 = T3 = 1% to 2% of the total diet, which was provided at 2.0 kg animal d-1, and received water ad libitum. The goats were synchronized during the breeding season with intravaginal devices (CIDR-Pfizer ®, natural progesterone 0.3 g) which remained for 9 days and applied 1.5 ml of Prostaglandin (Lutalyse ®) 48 hours before CIDR removal. Six hours after withdrawal of CIDR estrus was detected with male guards fitted with an apron and, upon detected estrus, a review was made of the ovaries by ultrasound to determine the number of follicles 4-5 mm and > 6 mm in diameter, present at its surface. Detected 24 h after estrus was intrauterine artificial insemination, pregnancy diagnosis was performed 35 days after insemination by ultrasound. Oestrus expression was delayed in goats fed the diet with calcium propionate T2 and T3 ( $35.5 \pm 3.9$  hours and  $40 \pm 4.2$  hours, respectively). There were no differences ( $P > 0.05$ ) in the duration of estrus or the percentage of synchronization. Calcium propionate precursor of glucose stimulated follicular development and hence a greater number of follicles with chances of fertilization, reflecting this in the pregnancy rate.

## JUSTIFICACIÓN

En México, la cría y producción de cabras es todavía una actividad principalmente de tipo familiar, trabajo que contribuye a arraigarlos en el medio rural, evitando que emigren a zonas urbanas o salgan del país. Aunque la ovinocultura y la caprinocultura, son sectores productivos cuya participación en el abasto de carne a nivel nacional es baja, mantienen una gran connotación dentro de la ganadería, por sus aspectos geográficos, climáticos y culturales, además de desarrollarse principalmente por productores de bajos recursos, aunque con una fuerte tendencia a la modernización y al empleo de sistemas intensivos. No obstante, la mayoría de las unidades de producción se conforman de pequeños rebaños que en términos generales, son marginadas, escasas en infraestructura y sus niveles de productividad son muy bajos. Por lo que es necesario implementar alternativas de manejo prácticas y de bajo costo que permitan incrementar su productividad. Esto es posible promoviendo el desarrollo de un mayor número de folículos antes del empadre que sean capaces de ovular lo que repercutirá directamente en un aumento de la tasa ovulatoria y consecuentemente de la prolificidad del rebaño y en el beneficio económico para el productor.

## **OBJETIVOS**

Determinar el efecto de la suplementación con propionato de Calcio antes del empadre en la respuesta al estro en cabras.

Determinar el efecto del propionato de Calcio como fuente de energía antes del empadre en el desarrollo folicular y tasa de gestación en cabras.

## **HIPÓTESIS**

El propionato de Calcio promoverá el comportamiento estral en cabras sincronizadas.

La suplementación con propionato de Calcio ante del empadre promueve el crecimiento folicular y por lo tanto el porcentaje de gestación en cabras.

## INTRODUCCIÓN

La producción caprina ha permanecido como una actividad complementaria o una entrada de ingresos extras para las familias de hoy en día. Pero puede dejar de ser una actividad artesanal para convertirse en una actividad con objetivos de alta productividad y rentabilidad, similar al fenómeno ocurrido con otras actividades empresariales similares, como la producción ovina en México. Esta nueva visión de la producción caprina es factible gracias al desarrollo de tecnologías pertinentes y adecuadas en el manejo de los caprinos de acuerdo a los sistemas de producción y condiciones existentes (Aréchiga *et al.*, 2008).

Para mejorar el desempeño reproductivo de las hembras, la suplementación estratégica se presenta como una herramienta muy importante, ya que aportaría los nutrientes necesarios a los animales para elevar la fertilidad, optimizando de esta forma el potencial productivo de las hembras en épocas en las que se requieren más nutrientes como lo son antes del empadre y después del parto (Martin y Kadokawa, 2006).

La restricción nutrimental crónica incrementa la actividad secretora de los gonadotropos, incrementando la concentración de la hormona Folículo Estimulante (FSH), pero el cambio más evidente es el aumento en la sensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación negativa de los estrógenos, sobre todo cuando la restricción nutrimental es severa, no así cuando es moderada, lo cual se asocia con una reducción en la frecuencia de secreción de pulsos de la Hormona Luteinizante (LH). Mejorando el nivel de alimentación antes del empadre en ovejas se incrementa la tasa de ovulación, lo que a su vez puede causar un incremento en el porcentaje de parición y tamaño de camada (Downing y Scaramuzzi, 1991) debido a un aumento en la frecuencia de los pulsos de LH, un aumento en la secreción de FSH y una menor concentración de inhibina (Forcada *et al.*, 1997), lo cual afecta el número de folículos con capacidad estrogénica que potencialmente llegaron a evaluar. En cabras se ha demostrado que una alta ingesta durante la etapa previa al apareamiento da por resultado un aumento en la tasa de ovulación y de concepción (Mani *et al.*, 1994).

El calcio y los precursores de energía como propionato y el propilen glicol se han usado por varios años para la prevención de desordenes metabólicos en vacas en periodo

postparto. Sin embargo, el propionato tiene un efecto glucogénico mayor y puede incrementar los niveles de glucosa e insulina después del parto promoviendo el desarrollo folicular (Downing y Scaramuzzi, 1991), pero no se sabe si puede afectar la fertilidad después del parto o antes del empadre aumentando el número de ovulaciones. El ingreso de glucosa al torrente circulatorio o el estímulo que esto ocasiona para la secreción endógena de insulina representan importantes mediadores de esa respuesta (Downing *et al.*, 1995; Scaramuzzi *et al.*, 2006).

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Ciclo Estral

El ciclo estral, o intervalo entre un estro y otro, es de 18 a 24 días con promedio de 21 días en la cabra. El calor o estro dura en la cabra de 24 a 36 horas y tiene una ovulación espontánea que ocurre de 6 a 12 horas después de iniciado el celo. Para obtener el mayor porcentaje de cabras preñadas es mejor montar la cabra un día después del inicio del calor (Gibbons, 1998).

El ciclo estral consta de dos etapas, dependiendo de las estructuras ováricas predominantes: la fase folicular y la fase lútea. La fase folicular inicia con la regresión del cuerpo lúteo y finaliza con la ovulación, durante esta fase ocurre, la maduración folicular, por lo que el esteroide gonadal dominante es el estradiol. La fase lútea se refiere a la etapa del ciclo en la cual se forma y tiene su mayor funcionalidad el cuerpo lúteo, la hormona dominante es la progesterona (Chemineau *et al.*, 1982).

Los estrógenos son los responsables de inducir la conducta sexual, que varía en intensidad entre las diferentes especies. Sus signos más característicos son: inquietud, aumento de la locomoción, vocalizaciones e inapetencia, el que es considerado como definitivo del estro es la inmovilidad frente al macho para aceptar la copula. Durante esta etapa suceden contracciones de útero y oviducto con la finalidad de favorecer el transporte de los gametos para la fertilización.

### Desarrollo Folicular

La foliculogénesis en el ovario de especies poco prolíficas, como la ovina o caprina, se caracteriza por el desarrollo simultáneo de subpoblaciones de folículos que presentan características funcionales diferentes, según su capacidad de respuesta y grado de dependencia del aporte de gonadotropinas hipofisarias, FSH y LH. El crecimiento folicular en los estadios preantrales sería independiente de ambas gonadotropinas. La aparición y aumento de tamaño del antro folicular dan lugar a una serie de cambios funcionales en el folículo que determinan su entrada en la fase de crecimiento terminal rápido (González - Bulnes *et al.*, 2002).

En los primeros estudios ultrasonográficos en ovinos no se encontraron evidencias que sostuvieran que el desarrollo folicular en la oveja se presentaba en oleadas. La misma controversia existía entre los resultados obtenidos en cabras, con estudios que han identificado ondas de crecimiento (Ginther y Kot, 1994), y estudios que han identificado crecimiento continuo en el caso de las cabras de raza Murciano-Granadina (González-Bulnes *et al.*, 1999). Sin embargo, ahora existe suficiente información que demuestra que la emergencia de los folículos que crecen desde 3 hasta 5 mm ocurre en oleadas.

Los folículos primordiales del pool se caracterizan por tener un ovocito carente de zona pelúcida pero rodeado por una capa plana de células de la granulosa (Scaramuzzi *et al.*, 1993); hasta este momento el desarrollo de los folículos ocurre en un patrón no organizado de crecimiento.

El aumento en la concentración de FSH después del pico preovulatorio de LH, promueve la emergencia una nueva oleada de desarrollo folicular pero a este tiempo el desarrollo ya ocurre de manera organizada y cíclica, la cual se caracteriza por tres eventos: reclutamiento, selección y dominancia (Scaramuzzi *et al.*, 1993, Viñoles, 2003).

#### Reclutamiento

El reclutamiento se define como el inicio de la folículogénesis dependiente de gonadotropinas de una cohorte de folículos viables y la emergencia de la oleada como tal (Driancourt, 2000). En ésta etapa los folículos ya empiezan a desarrollar el antro y crecen a una tasa lenta, al folículo le toma alrededor de 30 días incrementar de 0.2 a 0.7mm de diámetro. Sin embargo, al final de este estado la velocidad de crecimiento incrementa, tomándole solo 5 días para crecer de 0.8 a 2.5 mm de diámetro. La máxima tasa de proliferación de células de la granulosa se alcanza cuando el folículo tiene 0.85 mm de diámetro. La inducción de la actividad aromatasa, la cual es un paso crucial en el desarrollo folicular, ocurre en esta clase de folículos (Scaramuzzi *et al.*, 1993).

#### Selección

En esta etapa un folículo dominante se selecciona y el resto de los folículos se tornan a subordinados y entran en atresia. Esto usualmente se demuestra por un bloqueo de su tasa de crecimiento seguido por una disminución de tamaño. Generalmente se asume que el folículo

más grande de la cohorte es el que se selecciona para ovulación pero el proceso es muy complejo. En todas las especies el folículo seleccionado parece ser uno de los primeros que desarrollan receptores a LH en las células de la granulosa. Los folículos desarrollan receptores a FSH cuando llegan a 4 ó 5 mm en las borregas (Driancourt, 2000).

En este momento el desarrollo de los folículos es ya dependiente de gonadotropinas. Para que un folículo progrese a estado dependiente de gonadotropinas, hay un absoluto requerimiento de FSH. Con un adecuado soporte de FSH, hay un adecuado incremento en la actividad aromataasa y el folículo secreta estradiol en grandes cantidades. Sin embargo, el hecho de que tengan una mayor dependencia a FSH los hace más vulnerables a la atresia (Scaramuzzi *et al*, 1993).

### Dominancia

Durante la dominancia folicular ocurre el crecimiento y la maduración folicular. Los otros folículos de la cohorte completan la regresión por atresia, y se suspende el reclutamiento de la siguiente oleada. La magnitud de la dominancia se define usualmente como la diferencia en tamaño entre el folículo dominante y el folículo subordinado más grande. Es difícil identificar el folículo dominante en la borrega por ultrasonografía con exactitud (Scaramuzzi *et al*, 1993).

Un folículo ovulatorio de una borrega usualmente llega a un diámetro  $\geq 5$  mm. La transformación de un folículo dependiente de gonadotropinas a uno capaz de ovular requiere una pequeña pero crítica concentración de FSH. Este tipo de folículos tiene un gran número de receptores a LH y FSH. El incremento en tamaño del folículo ovulatorio es debido a un incremento en el número de células de la granulosa y a la acumulación de fluido folicular en el antro. La actividad aromataasa es máxima por lo que tiene altos niveles intrafoliculares de estradiol. Este es responsable del 90% de las concentraciones circulantes de estradiol (Driancourt, 2000).

La mayoría de los folículos en crecimiento sufren atresia a todos los estados de desarrollo y se ha estimado que en la vida media de todas las especies de mamíferos solamente 0.1 a 0.2% de los folículos primordiales llegan a desarrollarse a estado preovulatorio. Los folículos sufren atresia a través de procesos programados de muerte celular (Webb y Gong., 1996).

## **Factores que Afectan la Reproducción**

### **Fotoperiodo**

El fotoperiodo es el factor principal en la manifestación de la reproducción, y el primero tiene como interdependencia la latitud, siendo proporcional, lo que significa que, cuando mayor es la latitud, mayor es la variación de la intensidad luminosa (Chemineau *et al.*, 1993).

La marcada influencia del efecto de fotoperiodo sobre la ciclicidad es a través de la secreción de LH. Durante la estación anovulatoria o anestro, la secreción de estrógeno de los folículos inhibe fuertemente la liberación de LH. Como el efecto del fotoperiodo comienza a disminuir a finales del verano y a principios del otoño, este efecto inhibitorio se pierde e incrementa la liberación de LH que da lugar a la ovulación y a la ciclicidad. Esta alteración inhibitoria afecta los estrógenos del ciclo en la estación que las cabras no están ciclando y puede ser debido a cambios en la melatonina de la glándula pineal, la cual es la glándula que afecta los cambios en la percepción de la luz por la retina (Dowson, 2005).

La variación en la duración del día permite a los animales tomar este ritmo en el año utilizando las variaciones diarias de la secreción de la melatonina. Esta hormona es sintetizada y liberación únicamente durante la parte oscura del día. Así, la duración de la secreción de la melatonina es larga en días cortos (noches largas) y corta en días largos (noches cortas; Chemineau *et al.*, 1993).

La percepción de esta duración permite a los animales inducir o inhibir su actividad neuroendocrina sexual. El fotoperiodo y la melatonina, cambia la intensidad de retroacción negativa del estradiol sobre la actividad pulsátil de GnRH los días largos aumentan la inhibición y los días cortos la disminuyen (Thiery *et al.*, 2001)

Es probable que el inicio de la actividad ovulatoria de las hembras locales del altiplano mexicano sea estimulada por el fotoperiodo como factor medio ambiental que regula la actividad sexual de los animales originarios de climas subtropicales (Delgadillo *et al.*, 2004).

### **Nutrición**

La nutrición y el estado de reservas corporales de los animales ejercen una importante influencia sobre los parámetros reproductivos en pequeños rumiantes. Es conocido que el estrés nutricional resulta en detrimento en el comportamiento reproductivo de bovinos y ovinos (Downing y Scaramuzzi, 1991). La restricción nutrimental crónica incrementa la

actividad secretora de los gonadotropos, incrementando la concentración de FSH, aun el cambio más evidente es el aumento en la sensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación negativa de los estrógenos, sobre todo cuando la restricción nutrimental es severa, no así cuando es moderada, lo cual se asocia con una reducción en la frecuencia de secreción de pulsos de LH (Beckelt *et al.*, 1997). Mejorando el nivel de alimentación antes del empadre en ovejas se incrementa la tasa de ovulación, lo que a su vez puede causar un incremento en el porcentaje de parición y tamaño de camada (Downing y Scaramuzzi, 1991) debido a un aumento en la frecuencia de los pulsos de LH, aumento en la secreción de FSH y menor cantidad de inhibina (Forcada *et al.*, 1997), lo cual afecta el número de folículos con capacidad estrogénica que potencialmente llegaron a evaluar. En cabras, el mayor consumo de alimento antes del apareamiento en la época reproductiva mejor la tasa de ovulación y concepción (Mani *et al.*, 1994) por tanto, es importante conocer el efecto que produce periodos cortos de sobrealimentación posterior a la alimentación restringida o balanceada en la respuesta reproductiva y tasa ovulatoria de cabras, durante la época reproductiva y el anestro estacional. El nivel nutricional afecta los procesos involucrados en el desarrollo folicular y tasa ovulatoria de los rumiantes, particularmente a través de cambios en peso vivo (PV) y condición corporal (CC). La influencia de la nutrición en la función ovárica se clasifica como: 1) De largo plazo o efecto estático, en el cual hembras con mayores PV lograrán mayor tasa ovulatoria (2) de mediano plazo o efecto dinámico, donde aumentos en el PV o CC en semanas previas y durante el empadre promoverán mayor eficiencia ovárica, medida como la cantidad total de folículos y cuerpos lúteos presentes en el ovario 3) de corto plazo o efecto agudo, donde un suplemento estratégico de proteína o energía puede afectar positivamente la función reproductiva sin cambios en el PV o la CC (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

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.*, 2006). Las concentraciones séricas de la hormona del crecimiento (GH) fluctúan en respuesta al estado nutricional, pudiendo deprimir la síntesis y secreción de gonadotropinas (FSH y LH) y afectar la eficiencia reproductiva (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Sin embargo, la importancia y rutas de acción de dichos efectos en el comportamiento reproductivo necesitan ser aclarados (Martin *et al.*, 2004).

### Efecto estático de la nutrición

El efecto estático o de largo plazo es el que se observa en hembras con mayor peso vivo (PV), las cuales lograrán mayor tasa ovulatoria. El efecto estático promueve a) un incremento en la concentración de FSH que actúa a nivel ovárico para estimular el desarrollo de más folículos y promover el incremento de la tasa ovulatoria, b) un descenso en la producción folicular de estradiol probablemente asociada a niveles elevados de Leptina que inhiben la esteroidogénesis en ovejas con elevada condición corporal y c) las bajas concentraciones de estradiol inhiben la retroalimentación negativa al eje hipotalámico-hipofisiario permitiendo las elevadas concentraciones circulantes de FSH.

### Efecto dinámico de la nutrición

El efecto dinámico o de mediano plazo se observa en hembras donde aumentos en el PV o CC en semanas previas y durante el empadre promueven mayor eficiencia ovárica, medida como la cantidad total de folículos y cuerpos lúteos presentes en el ovario.

### Efecto agudo de la nutrición

El efecto agudo o de corto plazo, se observa cuando un suplemento estratégico de proteína o energía puede afectar positivamente la función reproductiva sin cambios en el PV o CC.

### **Suplementación (*flushing*)**

El flushing consiste en aumentar los niveles de energía o proteína de la dieta en las hembras antes y durante la época de reproducción (monta natural o inseminación artificial), con el fin de influenciar positivamente el peso corporal, la condición corporal, la tasa de ovulación y el número de crías por parto. Alternativamente es posible mantener esta práctica nutricional 10 a 15 días después del apareamiento con miras a contribuir a la adecuada implantación de los embriones en el útero, reduciendo la mortalidad embrionaria temprana.

### **Efecto de la Suplementación en el Desarrollo Folicular de Pequeños Rumiantes**

Las cabras con el mejor estado metabólico, evaluado como mayor PV / CC y suplemento con Proteína No Degradable en Rumen (PNDR), presentaron los niveles más elevados de IGF-I (Factor de Crecimiento parecido a Insulina-I) y la mayor actividad ovárica en la fase

folicular tardía. Los mayores niveles de IGF-I obtenidos en cabras con CC alta coinciden con lo reportado en ovejas por quienes observaron que ovejas con mejor PV y CC mostraron niveles séricos más altos de IGF-I. Cabras con BCC mostraron menor concentración sérica de IGF-I y menor actividad ovárica, coincidiendo con lo reportado por Scaramuzzi *et al.* (2006), de que con largos periodos de restricción nutricional o durante la movilización de tejido adiposo y muscular con pérdida de la CC, se afecta la función ovárica por la acción fisiológica de metabolitos y hormonas en el ovario (Guerra-García *et al.*, 2009).

En las cabras sin suplemento la actividad ovárica disminuyó, coincidiendo con lo reportado por (Gutiérrez, 2001 y Williams *et al.* 2001) de que el desarrollo folicular se controla mediante el efecto coordinado de gonadotropinas y que los cambios en su secreción y en la de glucosa, insulina, leptina y factores de crecimiento, generados por cambios de la nutrición, afectan el desarrollo folicular del ovario. De acuerdo con O'Callaghan *et al.*(2000), al aportar el doble de los requerimientos para mantenimiento en la etapa previa al empadre de ovejas, aumentó el número de folículos mayores a 3 mm y redujo la concentración de progesterona, comparado con ovejas que recibieron 100 o 50 % de sus necesidades nutrimentales; además, los niveles de IGF fueron diferentes significativamente entre los tratamientos.

### **Suplementación con Propionato de Calcio**

La suplementación estratégica, se presenta como una herramienta muy importante, ya que aportaría los nutrientes necesarios a los animales para elevar la fertilidad, optimizando de esta forma el potencial productivo de las hembras en épocas en las que se requieren más nutrientes como lo son antes del empadre y después del parto (Martin y Kadokawa, 2006). En cabras se ha demostrado que una alta ingesta durante la etapa previa al apareamiento da por resultado un aumento en la tasa de ovulación y de concepción (Mani *et al.*, 1994). El Calcio y los precursores de energía como propionato y el propilen glicol se han usado por varios años para la prevención de desordenes metabólicos en vacas en periodo postparto. Sin embargo, el propionato tiene un efecto glucogénico mayor y puede incrementar los niveles de glucosa e insulina después del parto promoviendo el desarrollo folicular (Downing y Scaramuzzi, 1991), pero no se sabe si puede afectar la fertilidad después del parto aumentando el número de ovulaciones El ingreso de glucosa al torrente circulatorio o el

estímulo que esto ocasiona para la secreción endógena de insulina representan importantes mediadores de esa respuesta (Downing *et al.*, 1995; Scaramuzzi *et al.*, 2006).

En los rumiantes, el propionato sirve como precursor de la síntesis de glucosa y por tanto como fuente energética, por lo que indirectamente ayudaría en eventos reproductivos y también puede actuar de forma independiente como mediador del metabolismo del estado nutricional. La suplementación exógena de propionato de calcio da lugar a la creciente concentración de propionato en el rumen sin que se vean afectadas las concentraciones de ácidos grasos volátiles, butirato e isovalerato (Liu *et al.*, 2009)

El ácido propiónico es producido en el rumen a partir del ácido pirúvico o del láctico siguiendo dos vías diferentes, aun cuando las dos son funcionales, una de ellas es predominante y se lleva a cabo con la formación de oxalacetato y succinato. La segunda vía requiere de la formación de acrilato y representa en el rumen de animales en los que la ración alimenticia es deficiente en azufre, quizá debido a un cambio en la población bacteriana, o bien cuando es a base de granos. El ácido propiónico (entra al Ciclo de Krebs como Succinil-CoA) es utilizado para formar glucosa mediante la vía de la gluconeogénesis y el ácido acético (se transforma en Acetil-CoA a nivel celular) es derivado para la síntesis de las grasas de la leche (Lewis 1962).

### **Usos en la Producción Animal**

En los sistemas ganaderos altamente productivos, fuentes alternativas de alimentos deben ser evaluados con el fin de maximizar el consumo de energía (Mendoza *et al.*, 2008). Aunque la inclusión de más grano fermentable en la dieta aumenta la densidad de energía, un exceso de tal grano en el rumen ocasionalmente reduce la ingesta de materia seca, y la ingesta total de energía no puede aumentar en realidad (Davis, 1967; Oba y Allen, 2003). Dado que el costo de los granos ha ido en aumento en todo el mundo, el uso de precursores de glucosa tal como glicerol, propilenglicol (Ferraro *et al.*, 2009) o propionato de Calcio para reemplazar parcialmente los granos puede ser un atractivo opción.

El glicol de propileno y el propionato de Calcio se utilizan para corregir los problemas metabólicos en el ganado lechero. Sin embargo, desde propileno glicol pueden ser metabolizados en compuestos de azufre (Trabue *et al.*, 2007), sólo propionato de calcio se

pueden incorporar en la dieta. Esto aumentaría la concentración de propionato en el rumen, que es el principal precursor necesario para la síntesis de glucosa en el hígado (Aiello *et al.*, 1989). Propionato de Calcio debe ser incorporado en dosis bajas, ya que disminuye el consumo de alimento en los rumiantes (Oba y Allen, 2003) y la disminución de la ingesta de forma lineal cuando se infunde en el ganado ovino (Farningham y Whyte, 1998).

### **Sincronización del Estro**

De forma natural, las ovejas y las cabras se reproducen en ciertas épocas del año; sin embargo, cuando el estro y la ovulación son inducidos, estas hembras pueden ser inseminadas en cualquier momento siempre que tengan buena salud, estén libres de parásitos y presenten buena condición corporal. Las crías deben ser retiradas entre 6 y 8 semanas antes de realizar la Inseminación Artificial. Cuando el estro es sincronizado, uno de los factores más importantes que limitan los porcentajes de gestación es el apareamiento de las hembras fuera de la estación reproductiva; su repercusión se refleja en la libido de los machos, así como en la cantidad y calidad de la producción seminal, debido al daño que sufren los espermatozoides durante el transporte a través del cérvix, causado por el uso de esponjas intravaginales con progestágenos para sincronizar el estro.

Al respecto, para controlar el problema de reducción de fertilidad causado por tratamientos de sincronización, se debe de combinar el método de sincronización del estro (primer ciclo) y detección del estro en el siguiente ciclo (segundo ciclo), obteniéndose así mejores porcentajes de gestaciones (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

### **Métodos de Sincronización**

Progestágenos.

Para la sincronización efectiva de un grupo de hembras, la duración del tratamiento con progestágenos debe superar la vida efectiva del cuerpo lúteo: 12-14 días en ovejas y 16-18 días en cabras. Cuando el tratamiento se suprime, el estro aparece 2-3 días después. El tratamiento actúa como un cuerpo lúteo, inhibiendo la liberación de gonadotropinas. Al suprimir el tratamiento la hipófisis aumenta la liberación de gonadotropinas, lo que estimula el crecimiento folicular y ovulación. El estro generalmente ocurre 24-56 horas después de remover la fuente de progesterona. La administración de Gonadotropina coriónica equina

(eCG) 48 horas antes de finalizar el tratamiento, reduce el intervalo de retiro de la progestina al inicio del estro. La administración subcutánea de eCG fue satisfactoria en cabras Boer con un intervalo reducido desde el inicio del estro hasta el pico de LH, comparada con la administración intramuscular (6.5 vs 10 horas, respectivamente; Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

El uso de progestágenos durante el período de anestro induce el desarrollo de folículos ováricos normales. Al remover el progestágeno, los folículos pueden ovular durante la estación en que la reproducción fracasa a causa de la retroalimentación negativa hormonal estacional, por ello es necesario que una gonadotropina estimule la madurez folicular total y la ovulación (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

#### CIDR y Esponjas Intravaginales con Progestágenos.

Las esponjas Chronogest® (Intervet) contienen 30, 40 o 45 mg de acetato de fluorogestona (FGA). Las esponjas que contienen 30 mg se recomiendan en ovejas con anestro, las de 40 mg para ovejas en estación reproductiva y las de 45 mg para cabras en cualquier época. Las esponjas se retiran después de 12-14 días en ovejas y de 16-18 días en cabras, jalando la cuerda hacia fuera e inclinándola ligeramente hacia abajo. Una vez retiradas las esponjas, la mayoría de las hembras presentan estro a los 2 o 3 días, durante la estación reproductiva (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

Los procedimientos de higiene y sanidad son esenciales para evitar infecciones vaginales e inflamación, ya que disminuyen las tasas de concepción. Los fluidos se acumulan en la vagina con los dispositivos de esponja. Se han reportado menos problemas de inserción e irritaciones vaginales con los dispositivos CIDR. Se ha demostrado que la fertilidad está relacionada a la concentración de progesterona; el tratamiento de ovejas en anestro durante 5 días con progesterona (CIDR) antes de la introducción del macho, indujo estros fértiles. La administración de FSH, 24 h antes de retirar la progesterona, aumentó el número de nacimientos por oveja en más de un cordero por parto y por lo tanto, la prolificidad (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

En el grupo (T1) todos los animales (100) presentaron inducción y sincronización con un intervalo entre 12-24 horas, después de la retirada del CIDR y fueron cubiertas dos veces (mañana y tarde), por los machos de acuerdo con el interés del criadero en sus cruzamientos.

De la 31 cabras que recibieron el tratamiento hormonal, 21 estaban gestantes al examen de ultrasonografía, con el índice de 67,7% de fertilidad y prolificidad 2,3 (49 cabritas). De las diez cabras que permanecieron no gestantes al examen ultrasonográfico, en ocho de ellas se observó actividad ovárica por el nivel de progesterona plasmática, siendo que en apenas dos es posible afirmar que no ovularon, pero el tratamiento hormonal promovió el efecto en la inducción y sincronización del estro (Monreal *et al.*, 1997).

#### Implante subcutáneo

Los implantes impregnados de progestágenos se colocan debajo de la piel de la oreja con ayuda de un aplicador. El retiro se realiza por incisión de la piel con un escalpelo, con ayuda de pinzas estériles. El método es efectivo, pero causa estrés al animal al momento del retiro debido a la incisión, por lo cual en ovinos y caprinos no es aconsejable su uso (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

#### Prostaglandinas (PGF<sub>2</sub>α)

Cuando las ovejas y cabras se encuentran a la mitad o final de la fase lútea del ciclo estral, el cuerpo lúteo se puede destruir administrando PGF<sub>2</sub>α. La hipófisis inicia la liberación de gonadotropinas que estimulan el crecimiento folicular y el estro se presenta a los 2 o 3 días. Las prostaglandinas sintéticas en forma inyectable, como el cloprostenol, son más potentes que la forma natural, como el Prosolvin® (Intervet). Una dosis de 125 mg de cloprostenol es efectiva para producir la regresión del cuerpo lúteo en ovejas y cabras. Lutalyse® (Upjohn) es una forma natural de prostaglandina y es recomendado a dosis de 15 mg para ovejas y 7.5 mg para cabras. Las prostaglandinas se administran por vía intramuscular. El cuerpo lúteo sólo responde a las prostaglandinas entre los 5-14 días del ciclo estral en la oveja y 6-17 días en la cabra. Para sincronizar es necesario aplicar 2 inyecciones con un intervalo de 10-14 días en ovejas y cabras. El estro aparece en la mayoría de las hembras a los 2 o 3 días después de la segunda inyección. Las prostaglandinas no pueden ser utilizadas en hembras que no estén ciclando de forma natural, como en la estación no reproductiva. Como herramienta de sincronización, el uso de prostaglandina F<sub>2</sub>α o análogos queda limitado para hembras ciclando durante la estación reproductiva normal. Las prostaglandinas inducen lisis del cuerpo lúteo maduro, el cual es susceptible 4-5 días después del estro. El estro usualmente se

presenta 36-48 horas después de la administración de prostaglandina. Cerca del 100% de las ovejas ciclando responde a 2 inyecciones de prostaglandina administradas con 11 días de diferencia. Las bajas tasas de fertilidad presentan mayor relación con el uso de prostaglandinas que con el de progestágenos, debido a falla lútea prematura (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

### Efecto macho

Carneros celadores u ovejas, pueden estimular la actividad del estro durante el anestro o período transicional a principio del verano. La exposición a un animal celador efectivo por 48 horas o más, incrementa la producción de LH en ovejas sensibles e inicia la ovulación sin estro (estro silencioso) en pocos días. El método consiste en introducir machos a grupos de hembras aisladas previamente durante algunas semanas. Cuando las hembras son inseminadas, los machos deben ser estériles (celadores). Este método de sincronización es efectivo al comienzo de la estación reproductiva, cuando la mayoría de las hembras no son cíclicas. Las hembras deben aislarse de los machos y no deben escucharlos, verlos, ni olerlos, por lo menos durante 4 semanas, para posteriormente introducir machos celadores. La mayoría de las ovejas mostraran estros fértiles a los 24 días y las cabras a los 30 días. Gran parte de las ovejas ovula a los 6 días de la introducción del macho, pero la primera ovulación es silenciosa y no está acompañada de estro. La primera ovulación también está acompañada de uno o dos ciclos cortos de 6-7 días de duración, por lo que varía la actividad estral. En la cabra, el primer estro no es silencioso, por lo que el efecto del macho cabrío produce un alto grado de sincronización del estro. Pero también en las cabras pueden aparecer los ciclos cortos de 5-6 ó 10-12 días, después de introducir los machos; en estos casos la fertilidad es más baja que en los ciclos normales. El estro silencioso es resultado del desarrollo de un cuerpo lúteo de vida corta que falla prematuramente (4-6 días) o de un cuerpo lúteo normal con duración de ciclo normal seguido por un estro ovulatorio normal. En el primer caso la regresión del cuerpo lúteo de vida corta o prematuro es seguida por el desarrollo de un cuerpo lúteo normal y estro después de 17 días, presentando dos picos de actividad estral a 18 y 24 días posteriores a la estimulación por el macho celador. Pero en la estación normal de cría existe un alto porcentaje de hembras que presentan un cuerpo lúteo normal y ciclo normal al introducir al macho celador. La administración de progesterona antes de la introducción del

macho mejora la sincronía del estro, produciendo sólo un pico de actividad estral. Las ovejas tratadas con progesterona, antes o al momento de la introducción de los carneros, mejora la efectividad del método al estimular el comportamiento estral en la primera ovulación e induce la formación de un cuerpo lúteo totalmente funcional y de duración normal, eliminando los ciclos cortos. La progesterona puede administrarse mediante pesarios intravaginales, por implante subcutáneo, o aplicando una inyección intramuscular de 20 mg de progesterona en el momento de introducir los carneros. Esto permite inseminar a la mayoría de las ovejas a los 6 días de introducir los machos o al segundo estro, 16-17 días después (Córdova-Izquierdo *et al.*, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Selección y Reproducción Caprina del Gobierno del Estado, ubicado en el Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis potosí. Se localiza a 22°11' N y 100°56' O y a una altitud de 1850 msnm. El clima es seco templado, con una franja al suroeste de clima semi-seco templado. La temperatura media anual es de 17.1 °C, la temperatura cálida comprende los meses de marzo a octubre y el período frío de noviembre a febrero. Su precipitación pluvial es de 362 mm (García, 1988).

### Animales

Se utilizaron un total de 75 cabras, de las razas Nubia y Alpina multíparas con un promedio de 3 partos, con un peso promedio de 45-50 kg y condición corporal promedio de 3 a 3.5 (escala 1-5; Russel *et al.*, 1969).

### Tratamientos y Alimentación

Los tratamientos se asignaron al azar a las cabras, los cuales consistieron en proporcionar un suplemento por 10 d antes del empadre, en el que para su elaboración se utilizó propionato de Calcio. Los tratamientos consistieron en proporcionar una dieta integral, 10 días antes del empadre que contenía propionato de calcio con T1=0%, T2=1% y T3=2% del total de la dieta, la cual se proporcionó a razón de 2.0 kg animal d<sup>-1</sup>, además recibieron agua a libre acceso.

**Cuadro 1.** Composición y aporte nutrimental de la dieta.

Ingredientes	% de la dieta	% de MS	% PC	EM (kcal/kg)
Alfalfa achicalada	43	91	7.74	796
Maíz molido	34.5	88	2.96	1090
Melaza	19.6	75	1.28	549
Rumisal	2.9	90	0	0

## **Manejo Reproductivo**

Las cabras se sincronizaron durante la estación reproductiva con dispositivos intravaginales (CIDR-Pfizer®; 0.3 g progesterona natural) los cuales permanecieron durante 9 días y se aplicaron 1.5 ml de Prostaglandina (Lutalyse®) 48 horas antes de retirar el CIDR. Seis horas después de retirado el CIDR, se inició la detección de calores utilizando tres machos celadores provistos de mandil para evitar la cópula; al momento de detectado el estro, se realizó la revisión de los ovarios por ultrasonografía en tiempo real (Sonovet PICO, Universal Medical Systems Inc. y transductor lineal de 7.5 MHz) para determinar el número y diámetro de folículos de 4-5 mm y > 6 mm de diámetro, presentes en su superficie (González-Bulnes *et al.*, 2002) y 24 horas después de detectado el estro se realizó la inseminación artificial intrauterina laparoscópica, con semen fresco de machos cabríos de fertilidad conocida, el diagnóstico de gestación se realizó 35 días después de la inseminación.

## **Variables de Respuesta**

Inicio del estro (IE)(horas): momento en que la hembra acepta la monta por primera vez después de retirado el CIDR, manifestando un comportamiento de lordosis.

Duración del estro (DE) (horas): momento en que las hembras después de horas de detectado el estro no aceptan más la monta del macho y no presentan ya comportamiento de lordosis.

Porcentaje de sincronización (PS) (%): no. de hembras que responden al tratamiento de sincronización respecto al total de hembras tratadas X 100.

No. de folículos de 4-5 mm: no. de folículos de 4-5 mm de diámetro en la superficie del ovario observados por ultrasonografía.

No. de folículos > 6 mm: no. de folículos > 6mm de diámetro en la superficie del ovario observados por ultrasonografía.

Porcentaje de gestación (PG) (%): No. de hembras gestantes diagnosticadas por ultrasonografía del total de hembras tratadas X 100.

### **Análisis Estadístico**

Para el análisis de datos se utilizó un diseño experimental completamente al azar. El análisis de los datos se realizó con los procedimientos GLM para las variables inicio del estro y duración del estro, CATMOD para no. de folículos y LOGISTIC para porcentaje de sincronización y gestación por medio del paquete estadístico SAS (1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inicio del Estro

El tiempo entre la terminación del tratamiento hormonal y el inicio del estro es un parámetro importante en programas de Inseminación Artificial a tiempo fijo o en sistemas de apareamiento controlado. En éste estudio se observaron diferencias entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) para la variable IE. La expresión del estro se retrasó en las cabras que consumieron la dieta con propionato de calcio T2 y T3 ( $35.5 \pm 3.9$  horas y  $40 \pm 4.2$  horas, respectivamente) comparativamente con las cabras en el tratamiento testigo, en donde las cabras exhibieron comportamiento estral a las  $26.8 \pm 2.3$  horas.

Los resultados de esta investigación se encuentran dentro de los valores reportados con inicio de estro entre 18 y 96 h después del retiro del progestágeno (Ahmed *et al.*, 1998), así mismo, (Córdova-Izquierdo *et al.* 2008) señalan que después de los tratamientos con progestágenos el estro generalmente ocurre 24-56 horas después de remover la fuente de progesterona. La administración de PMSG 48 horas antes de finalizar el tratamiento, reduce el intervalo de retiro de la progesterona al inicio del estro.

Las dietas y suplementos altos en energía se han utilizado para mejorar aspectos productivos y reproductivos en rumiantes. La deficiencia en energía retrasa el inicio de la pubertad y altera el ciclo estral de la hembra, reduce el porcentaje de ovulación, modifica la secreción de GnRH, progesterona, estradiol y frecuencia de pulsos de LH (Schillo, 1992; Scheneider, 2004). Los factores que pueden influir en el tiempo de respuesta a los tratamientos de sincronización son la absorción del progestágeno por el epitelio vaginal, la aplicación de eCG y la respuesta inmune (Iida *et al.*, 2004).

Estos resultados no coinciden con los reportados por Méndez *et al.* (2009) quienes, al utilizar propionato de calcio y lasalocida observaron en cabras un tiempo de reacción menor en la presencia de celo, concluyendo que al utilizar estas fuentes gluconeogénicas como precursores de glucosa, posiblemente causaron un estímulo mayor a nivel ovárico permitiendo un desarrollo folicular mayor, con lo cual se tendría una mayor disponibilidad de estradiol, permitiendo así que el estro se presente de una manera adelantada en las cabras suplementas con dichos aditivos gluconeogénicos a pesar de que estadísticamente no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo aunque en éste estudio las cabras que

consumieron propionato de calcio presentaron un mayor desarrollo folicular (Cuadro 1) no hubo diferencias en el inicio del estro respecto al grupo testigo.

### **Duración del Estro**

No se observaron diferencias entre tratamientos ( $P>0.05$ ) en la DE, en promedio en los tres tratamientos el estro tuvo una duración de 25 h (T1=  $25.37\pm 0.97^a$ , T2=  $25.83\pm 0.95$  a y T3  $25.78\pm 0.95a$ ). Estos resultados concuerdan con lo reportado con (Gibbons 1998) quien señala que el calor o estro dura en la cabra de 24 a 36 horas y tiene una ovulación espontánea que ocurre de 6 a 12 horas después de iniciado el celo.

Los resultados reportados para la duración del estro indican mayor variabilidad cuando las cabras son tratadas con progestágenos y menor variación cuando se utilizan prostaglandinas, sin embargo en éste caso no hubo diferencia entre tratamientos, posiblemente debido a que las hembras estaban en época reproductiva lo que disminuyó la variación en la duración del estro. La combinación de los tratamientos de sincronización con progestágenos y eCG causa una mayor duración del estro (Romano, 1998).

### **Porcentaje de Sincronización de Estros**

No se observaron diferencias entre tratamientos ( $P>0.05$ ) en el porcentaje de sincronización, el 100% de las cabras exhibieron comportamiento estral. Estos resultados coinciden con Monreal-Duenhas *et al.* (1997) quienes señalan que un 100% de animales entraron en calor al utilizar CIDR's, en un intervalo de tiempo de 12 a 24 horas después de retirado el dispositivo intravaginal. Así mismo, en ovejas, Molina *et al.* (2005) al utilizar el mismo dispositivo observaron un 100% de respuesta en el porcentaje de estros, además de un 77.8% de gestación en ovejas con presencia de cuerpo lúteo funcional y 83.3% de gestaciones durante la época reproductiva.

### **No. de Folículos de 4-5 mm y > 6 mm de Diámetro**

Hubo diferencias entre tratamientos ( $P<0.05$ ) en el número de folículos de la categoría 4-5 mm de diámetro, las cabras que consumieron una dieta con 2% de propionato de calcio presentaron mayor número de folículos de este diámetro (Cuadro 2), no observándose

diferencias entre el tratamiento testigo y las que consumieron la dieta con 1% de propionato de Calcio. No obstante, para la categoría de folículos > 6 mm de diámetro el tratamiento testigo mostró la menor cantidad de folículos con respecto a los dos tratamientos en donde las cabras consumieron la dieta con propionato de calcio (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** No. de folículos de acuerdo a dos categorías, en cabras suplementadas con Propionato de Calcio.

Tratamiento	No. de folículos	
	4-5 mm	>6 mm
Testigo (T1)	2.25±0.61b	1.4±0.25 a
1% Propionato Ca (T2)	2.40±0.61b	1.77± 0.13b
2% Propionato de Ca (T3)	2.83±0.42a	2.19± 0.13b

a,b Valores con distinta literal en la misma columna son estadísticamente diferentes

Scaramuzzi y Radford (1983) mencionaron que las hembras pueden responder a cambios de corto tiempo en la disponibilidad de proteína y energía con un incremento en ovulaciones dobles, particularmente cuando las hembras muestran un pobre estado metabólico. En contraparte, varios autores han reportado una relación positiva entre niveles de energía y actividad ovárica, independientemente del nivel de proteína consumido.

El efecto anterior conocido como “flushing corto”, puede expresarse después de aumentar el consumo de suplementos altos en energía, o por administración intravenosa de glucosa por periodos de 4 a 6 días cuando se inicia justo antes de la luteólisis natural o inducida (Scaramuzzi *et al.*, 2006). En relación al efecto de “flushing”, se ha propuesto que el aumento en el ingreso de glucosa al torrente circulatorio o el estímulo que esto ocasiona para la secreción endógena de insulina, representan importantes mediadores de esa respuesta (Downing *et al.*, 1999). Se ha demostrado que la insulina puede favorecer la secreción endógena de gonadotropinas (Buggs *et al.*, 2006) o estimular directamente a nivel ovárico el proceso de desarrollo folicular (Poretzsky *et al.*, 1999). Asimismo, se ha sugerido que la cantidad de glucosa disponible para uso tisular puede implicar efectos directos de este

metabolito sobre la función ovárica (Scaramuzzi *et al.*, 2006) y sobre la función hipotálamo-hipofisiaria relacionada con la secreción de gonadotropinas (Foster y Nagatani, 1999). Al usar propionato de calcio como precursor de glucosa pudo ocasionar un mayor número de folículos ováricos y de diámetro mayor, en las cabras de T3, los cuales tienen una mayor probabilidad de ovular y aumentar la tasa ovulatoria y prolificidad.

### **Porcentaje de Gestación**

El mayor desarrollo folicular observado en cabras, particularmente en T3, no se reflejó en el porcentaje de gestación. Se observaron diferencias entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) en el porcentaje de gestación, las cabras que consumieron la dieta con 1% de propionato de Calcio presentaron el mayor porcentaje de gestación (84.0%), respecto a los tratamientos testigo y T3 (73.3 % y 68.7% respectivamente). Baril *et al.* (1993) indican que la fertilidad de las cabras es pobre cuando el servicio no se realiza en el momento apropiado, por lo que esta puede ser una causa de la baja tasa de gestación. En éste experimento se observó en T3 una mayor estimulación del desarrollo folicular, es decir, la presencia de folículos mayores a 6 mm de diámetro, no obstante son las hembras que entraron más tarde en celo ( $40 \pm 4.2$  h después de retirado el progestágeno). La revisión del ovario se hizo hasta el momento en que presentaron conducta sexual, pero es posible que el folículo ovárico haya alcanzado ese diámetro antes de hacer la observación debido a la disposición de glucosa, por lo que el ovocito al momento de ser fertilizado ya estaría al final de su vida fértil y al dar el servicio no ser fertilizado, lo que disminuyó el porcentaje de gestación. Sin embargo hacen falta más estudios para monitorear la dinámica folicular para dar seguimiento al crecimiento del folículo a partir del retiro del progestágeno.

En el caso del grupo testigo, al no recibir una fuente adicional de glucosa, desarrollaron una menor cantidad de folículos mayores a 6 mm de diámetro (Cuadro 2), por lo que los folículos que no alcanzan diámetros de ovulación mayores tienen una menor probabilidad de ovular al no desarrollar receptores suficientes para LH por lo que se atresian (Downing y Scaramuzzi, 1991).

## CONCLUSIONES

En este estudio al utilizar propionato de Calcio como precursor de glucosa estimuló el desarrollo folicular permitiendo que un mayor número de folículos alcanzaran el diámetro de ovulación y por lo tanto una mayor cantidad de folículos con posibilidades de ser fertilizados, reflejándose esto en el porcentaje de gestación. Sin embargo, se observó que en T3 al utilizarse un mayor porcentaje de propionato en la dieta aunque estimula el desarrollo folicular, retrasa la hora de inicio de celo, y disminuye el porcentaje de gestación lo que puede atribuirse a la fertilización de ovocitos viejos, con menor viabilidad.

## LITERATURA CITADA

- Aiello, R.J., L.E. Armentano., S.J. Bertics., A.T. Murphy., 1989. Volatile fatty acid uptake and propionate metabolism in ruminant hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 72,942–949.
- Acero, R.A. 2007. Evaluación de dos estrategias de Alimentación en Ganado Caprino: Vigorización Energética (Flushing) en Hembras Reproductoras. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad de Puerto Rico.
- Aréchiga, C.F., J.I. Aguilera, R.M. Rincón, S. Méndez de Lara, V.R. Bañuelos y C.A. Meza-Herrera. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización., *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 9:1-14.
- Ahmed M.M., S.E. Makawi and A.S. Jubara. 1998. Synchronization of oestrus in Nubian goats. *Small Ruminant Research.* 30(2):113-120.
- Bartelewsky, P.M., A.P. Beard, S.J. Cook, R.K. Chandolia, A. Honoramooz, y N.C Rawlings. 1998. Ovarian antral follicular dynamics and their relationship with endocrine variables throughout the oestrous cycle in breeds of sheep differing in prolificacy., *Journal of Reproduction and Fertility.* 115: 111-124.
- Baril, G., B. Leboeuf y J. Saumande. 1993. Synchronization of oestrus in goats: the relationship between time of occurrence of oestrous and fertility following artificial insemination. *Theriogenology.*,40:621-628.
- Beg, M.A. y O.J. Ginther. 2006. Follicle selection in cattle and horses: role of intrafollicular factors. *Reproduction.*, 132: 365-377.
- Beckett J.L., H. Sakurai., B.M. Adams., T.E. Adams. 1997. Moderate and severe nutrient restriction has divergent effects on gonadotroph function in orchidectomized sheep. *Biology. Reproduction.* 57: 415-419.
- Buggs, C., F. Weinberg, E. Kim., A. Wolfe., S. Radovick and F. Wondisford. 2006 Insulin augments GnRH-stimulated LH $\beta$  gene expression by Egr-1. *Mol. Cel. Endocrinol.* 249:99-106.
- Córdova I. A., J. Córdova y L. Guerra. 2008 .Procedimientos para aumentar el potencial reproductivo en ovejas y cabras. *Revista Veterinaria* 19: 1, 67–79.
- Cheminaeu, P., D. Gauthier, J.C. Poirer y J. Saumande. 1982. Plasma levels of LH, FSH, Prolactin, Oestradiol 17 b and progesterone during natural and induced oestrus in dairy goat. *Theriogenology* 17:313-323.

- Cheminaeu, P., X. Berthelot, B. Malpoux, Y.Guerin, D.Guillaume y J. Pelletier. 1993. La maitrise de la reproduction par la photoperiode et la melatonine chez les mammiferos d'elevage. Cashiers Agriculture, Paris v.2 pp. 81-92.
- Davis, C.L., 1967. Acetate production in the rumen of cows fed either control or low-fiber, high-grain diets. *J. Dairy Sci.* 50, 1621–1625.
- Dawsos, L.J. 2005. Producción caprina en Nuevo León (Memorias del primer ciclo de Conferencias). México. Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 295-299.
- Delgadillo, J.A., F. Rodríguez., G. Duarte, F.G.Veliz, E. Carrillo y J.A. Flores. 2004. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod. Fertile. Dev.* 16 (4): 471-478.
- Dissen, G.A., C. Romero, A.N. Hirshfield and, S.R. Ojeda. 2001. Nerve growth factor is required for early follicular development in the mammalian ovary. *Endocrinology.* 142: 2078-2086.
- Downing, J.A. y R.J. Scaramuzzi. 1991. Nutrient effects on ovulation rate, ovarian function and the secretion of gonadotrophin and metabolic hormones in sheep. *Reprod Fertil.* 43:209-227.
- Downing J.A., J. Joss., R.J. Scaramuzzi. 1995 A mixture of the branched chain amino acids leucine, isoleucine and valine increases ovulation rate in ewes when infused during the late luteal phase of the oestrous cycle: an effect that may be mediated by insulin. *J Endocrinol* 145:315-323
- Downing, J.A., J. Joss y R.J. Scaramuzzi. 1999. The effect of a direct arterial infusion of insulin and glucose on the ovarian secretion rates of androstenedione and estradiol in ewes with an autotransplanted ovary. *J. Endocrinol* ;163:531-541.
- Driancourt, M. A. 2000. Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals. Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology.* 55. 1211-1239.
- Eppig J. J. 2001. Oocyte control of ovarian follicular development and function in mammals. *Reproduction.*122: 829-838.
- Farningham, D.A.H., C.C. Whyte. 1998. The role of propionate and acetate in the control of food intake in sheep. *Br. J. Nutr.* 70, 37–46.
- Ferraro, S.M., G.D. Mendoza., L.A. Miranda y Gutiérrez, C.G., 2009. In vitro gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154, 112–118.

- Forcada, F., J.M. Lozano, J.A. Abecia and L. Zaragaza. 1997. Control of luteinizing hormone secretion in ewes by endogenous opioids and the dopaminergic system during short seasonal anoestrus: role of plane of nutrition. *Anim. Sci.* 65: 217-224.
- Foster D.L. y S. Nagatani. 1999. Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: role in timing puberty. *Biol. Reprod.* 60:205-215.
- Gastal E.L., M.O. Gastal, M.C. Wiltbank. y O.J. Ginther. 1999. Follicle deviation and intrafollicular and systemic estradiol concentrations in mares. *Biol. Reprod.* 53: 931-939.
- Guerra M., C. A. Meza, M. T. Sánchez, J. Gallegos, G. Torres y A. Martínez. 2009. IGF-I y actividad ovárica de cabras en condición corporal divergente y con un suplemento de proteína no degradable en rumen. *Agrociencia.* vol.43, n.3, pp. 241-247.
- Gibbons, A. 1998. Aspectos reproductivos de la hembra caprina. jornadas de capacitación en producción caprina. Estación experimental agropecuaria Bariloche. INTA. Argentina.
- Ginther, O.J. 1990. Folliculogenesis during the transitional period and early ovulatory season in mares. *J. Reprod. Fertil.* 90: 311- 320
- Ginther, O. J. y K. Kot. 1994. Follicular dynamics during the ovulatory season in goats. *Theriogenology.* 42:987-1001.
- Ginther, O.J., K. Kot. y M.C. Wiltbank. 1995. Associations between emergence of follicular waves and fluctuations in FSH concentrations during the estrous cycle in ewes. *Theriogenology*, 43. 689-703.
- González, B.A., M.J. Santiago, A.B. Gómez, E.K. Inskip, E.C. Townsend y S.A. López. 1999. Follicular dynamics during the oestrous cycle in dairy goats. *Animal Science.* 68.547-554.
- Gonzalez, B.A. J. M. Santiago, R.M. García, M.J. Cocero y A. López-Sebastian. 2002. Patrones y mecanismos de control del desarrollo folicular durante la administración de protocolos superovulatorios en pequeños rumiantes (revisión ). *Invest. Arg. Prod. Sanid. Animal.* 17:371-48.
- Goonewardene, L. A., W. Whitmore, S. Jaeger y S. Emond. 1997. Effect of prebreeding maintenance diet on artificial insemination in Alpine and Saanen goats. *Theriogenology.* 48: 151-159.
- Gutiérrez, A., C. 2001. Influencia de la nutrición en la reproducción. *In: II Curso Internacional: Fisiología de la Reproducción en Rumiantes.* Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. pp: 1-15.

- Karatzas, G., A. Karangiannidis, S. Varsakeli y P. Brikas. 1997. Fertility of fresh and frozen-thawed goat semen during the nonbreeding season. *Theriogenology* 48: 1049-1059.
- Kulick L.J., K. Kot, M.C. Wiltbank y O.J. Ginther. 1999. Follicular and hormonal dynamics during the first follicular wave in heifers. *Theriogenology*. 52: 913-921.
- Lewis, D. 1962. *Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 339 p.
- Liu, Q., C. Wang, W.Z. Yang, G. Guo, X.M. Yang, D.C. He, K.H. Dong y Y.X. Huang, 2009. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94: 605–614.
- Iida, K., N. Kobayashi, H. Kohno, A. Miyamoto and Y. Fukui. 2004. A comparative study of induction of estrus and ovulation by three different intravaginal devices in ewes during the nonbreeding season. *The J. Reprod. Dev.* 50: 63-69.
- Mani, A.U., E.D. Watson and A.C. McKelvey. 1994. The effects of subnutrition before and embryo transfer on pregnancy rate and embryo survival in does. *Theriogenology*. 41: 1673- 1678.
- Martin, B. G., J. Rodger and D. Blache. 2004. Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reprod. Fertility and Dev.* 16: 491–501.
- Martin, G. B. and H. Kadokawa. 2006. “Clean, Green and Ethical” Animal Production. Case Study: Reproductive Efficiency in Small Ruminants. *J. Reprod. Dev.* 52:145-152.
- Mendoza, M.G.D., P.F.X. Plata., C.R. Espinoza y B.A. Lara, 2008. Manejo nutricional para mejorar la utilización de la energía en bovinos, vol. 24. Universidad y Ciencia, UJAT Mexico, pp. 1–13 (Eng. Abstr.).
- Meza, H.C. A., D.M. Hallford, J.A. Ortíz, R.A Cuevas, J.M. Sanchez, H. Salinas, M. Mellado, y A. B. Gonzalez. 2006. Body condition and protein supplementation positively affect periovulatory ovarian activity by non–LH mediated pathways in goats. *Anim. Reprod. Sci.* 106:412–420.
- Nilsson, E.E. y M.K. Skinner. 2002. Growth and differentiation factor-9 stimulates progression of early primary but not primordial rat ovarian follicle development. *Biol. Reprod.* 67: 1018-1024.
- O'Callaghan, D., H. Yaakub, P. Hyttel, J. Spicer, y P. Boland. 2000. Effect of nutrition and superovulation on oocyte morphology, follicular fluid composition and systemic hormone concentrations in ewes. *J. Reprod. Fertility* 118: 303–313.
- Oba, M., M.S. Allen, 2003. Extent of hypophagia caused by propionate infusion is related to plasma glucose concentration in lactating dairy cows. *J. Nutr.* 133, 1005–1012.

- Poretsky, L, N.A. Cataldo, Z. Rosenwaks, L.C. Giudice. 1999. The insulinrelated ovarian regulatory system in health and disease. *Endocr. Rev.* 20(4):535-582.
- Russel A.J.F., J.M. Donney y R.G. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agriculture Science* 72: 451-454.
- Romano J.E. 1998. Effect of two doses of cloprostenol in two schemes of Oestrus synchronization in Nubian goats. *Small Ruminant Research.* 30,99-103.
- Scaramuzzi, R. J. y H. M. Radford. 1983. Factors regulating ovulation rate in the ewe. *J. Reprod. Fert.* 69:353-367.
- Scaramuzzi R.J., N.R. Adams., D.T. Baird., B.K. Campbell., J.A. Downing., J.K. Findlay., K.M. Henderson., G.B. Martin., K.P. McNatty., A.S. McNeilly y C.G. Tsonis. 1993. A model for follicle selection and the determination of ovulation rate in the ewe. *Reproduction, Fertility and Development* 5(5) 459 - 478
- Scaramuzzi, R. J., K. Campbell B., A. Downing J., R. Kendall N., M. Khalid, M. Muñoz–Gutierrez, y A. Somchit. 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. *Reprod. Nutri. Dev.* 6: 339–354.
- Schillo, K.K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *J. Anim. Sci.* 70:1271-1282.
- Schneider, J.E. 2004. Energy balance and reproduction. *Phys. Behav.* 81:289-317.
- Trounson, A., C. Anderiesz., G.M. Kaushe y L.N.Wood. 1998. Oocyte maturation. *Human Reprod.* 3: 52-62.
- Trabue, S., K. Scoggin., S. Tjandrakusuma, M.A. Rasmussen y P.J. Reilly. 2007. Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol. *J. Agric. Food Chem.* 55, 7043–7051.
- Viñoles, G.C. 2003. Effect of nutrition on follicle development and ovulation rate in the ewe. Doctoral thesis. Department of clinical chemistry. Swedish University of Agriculture Sciences. Faculty of Veterinary Medicine. Uppsala, Uruguay.
- Webb R., B. Nicholas, J.G. Gong, B.K. Campbell, C.G. Gutiérrez, H.A. Garverick, D.G. Armstrong. 2003. Mechanisms regulating follicular development and selection of the dominant follicle. *Reproduction.* 61: 71-90.
- Williams, S. A., D. Blache, G. B. Martin, R. Foot, A. M. Blackberry and J. R. Scaramuzzi. 2001. Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. *Reproduction.* 122: 947–956.