



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
*CAMPUS LOMA BONITA*

---

**LICENCIATURA EN ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE LOS ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS  
SOBRE EL PERFIL HORMONAL EN OVEJAS DE PELO**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

**PRESENTA:**

**EDUARDO QUINTO GALLARDO**

**ASESOR:**

**DR. VICTOR MANUEL MEZA VILLALVAZO**

**LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, MAYO 2016**



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

---

## LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

LA PRESENTE TESIS TITULADA “EFECTO DE LOS ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS SOBRE EL PERFIL HORMONAL DE OVEJAS DE PELO” HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

**JURADO EXAMINADOR**

---

  

---

LOMA BONITA, OAXACA, MAYO DEL 2016

## DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con mucho orgullo a mis señores padres, quienes han sido el motor principal para lograr cada una de las metas que me he propuesto. Alentándome siempre con un

**“Si se puede”** y un **“No hay nada imposible”**.

Gracias a su inmenso amor, han hecho de mi la persona que soy ahora, gran parte de mis logros han sido gracias a la formación que me brindaron con base en reglas y libertades, gracias a esa motivación constante pude alcanzar mis sueños y anhelos.

Gracias Papá y Mamá, los quiero con toda mi alma

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo agradezco a Dios por brindarme una excelente salud física y mental, lo que me ha permitido concluir una de las metas más importantes en mi vida, mis estudios profesionales. Por ser el pilar más fuerte en los momentos de gran debilidad y siempre mostrarme el camino hacia la mejor salida, por nunca dejarme solo en ninguna etapa de mi vida fuera buena o mala.

Gracias a mis padres Antonio y Juanita por estar conmigo en todo momento, a pesar de que en ocasiones les he fallado o defraudado, nunca me han dado la espalda, al contrario siempre me han brindado la mano para levantarme con más fuerzas y retomar mi camino.

A mi hermano por sus buenos consejos y ser parte importante de mi vida. A mis sobrinos Montse, Alexa, Lya y Toñito por llenar mi vida de alegrías y mucho amor en los momentos que más lo he necesitado.

Le agradezco ante todo su amistad, confianza y apoyo incondicional a mi asesor de tesis Dr. Victor Manuel Meza Villalvazo, por compartir sus conocimientos y su tiempo extra clases siempre apoyándome para que pudiera concluir mi tesis de manera adecuada.

A mis amigos Oziel Ocampo Cazarin (El Negro) y Joaquín Estrada Solís (Quin). Por estar conmigo en las buenas y en las malas, por esas grandes pláticas tan

amenas y todos los momentos chuscos que compartimos juntos, los cuales hicieron de mi trayectoria universitaria un conjunto de vivencias que perdurarán por siempre en mi mente.

A mis abuelitos Vicente, Carmelita, Antonio y Carmen Diez, que aunque dos de ustedes ya no se encuentran con nosotros, sé que sin duda alguna se sentirán orgullosos de ver que sus consejos, regaños y cariño han hecho que tomara siempre un camino de rectitud y honestidad para poder llegar a ser todo un profesionalista.

**Lalo Quinto.**

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.-OBJETIVO GENERAL</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo específico	<b>3</b>
<b>3. HIPOTESIS</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
4.1. Situación actual de la ovinocultura en México	5
4.2. Características reproductivas de los ovinos de pelo	6
4.2.1. Pubertad	6
4.2.2 Estacionalidad sexual	7
4.2.3. Eficiencia Reproductiva	8
4.2.3.1.Fertilidad	9
4.2.3.2. Prolificidad	9
4.3. Bases fisiológicas del ciclo sexual en la oveja	10
4.3.1. Ciclo sexual y actividad reproductiva	10
4.3.2. Control neuroendocrino del ciclo estral	12
4.3.2.1. GnRH	13
4.3.2.2. FSH y LH	13
4.3.2.3. Hormonas esteroideas ováricas	14
4.3.2.4. Activina, inhibina y follistatin	14
4.3.2.5. Factores de crecimiento	15
4.3.2.6. Prostaglandinas	15
4.4. Dinámica folicular	16
4.4.1. Ovulación	17
4.4.2. Crecimiento, desarrollo y función del cuerpo lúteo	19
4.5. Suplementación lipídica	21
4.6. Fuente de ácidos grasos	22
4.7. Ácidos grasos y su importancia en la reproducción	23
4.7.1. Síntesis de hormonas	24
<b>5. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>27</b>
5.1. Ubicación	27
5.2. Animales, manejo y alimentación	27
5.3. Sincronización y detección de celos	28
5.4. Muestreo sanguíneo y determinación en laboratorio	28

5.4.1. Insulina	28
5.4.2. Progesterona y colesterol	29
5.4.3. Estradiol	29
5.5. Análisis estadístico	29
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
<b>7. CONCLUSIÓN</b>	<b>38</b>
<b>8. LITERATURA CITADA</b>	<b>39</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Peso vivo inicial y final (kg), cambios de peso (g/d) y condición corporal de ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados	<b>32</b>
<b>Tabla 2.</b> Concentraciones séricas de Progesterona ( $\pm$ DE) (ng/ml) y Colesterol ( $\pm$ DE) (mg/dl) en la fase lútea del ciclo estral de ovejas de pelo suplementadas con tres niveles ácidos grasos poliinsaturados	<b>34</b>
<b>Tabla 3.</b> Concentraciones séricas de Insulina ( $\pm$ DE) (ng/ml) post presencia de celo en ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados	<b>35</b>
<b>Tabla 4.</b> Concentraciones séricas de Estradiol ( $\pm$ DE) (pg/dl) antes, durante y después de la presencia de celo en ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados.	<b>37</b>

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de ovejas de pelo y su efecto sobre los niveles séricos de progesterona y estradiol, se utilizaron veintinueve ovejas de pelo, con una condición corporal al inicio del experimento de  $2,7 \pm 0.995$  puntos y un peso vivo de  $32.7 \pm 1.87$  kg, mismas que se dividieron en tres tratamientos isoenergéticos (8,9 MJ / día) e isoproteicos (10,5% CP) los cuales difieren en el nivel de aceite de maíz utilizados: control (0%, n = 7), 3%, (n = 7), y 6% (n = 7). Los ciclos estrales de las ovejas fueron sincronizados con PGF2 $\alpha$  con un intervalo de siete días, y el inicio del estro se detectó con dos carneros, el día del estro detectado fue tomado como el Día 1. Se obtuvieron muestras de sangre (10 ml) de cada oveja obtenida por punción de la vena yugular, el suero fue almacenado a -20 ° C. Se utilizó radioinmunoensayos para determinar colesterol, insulina, progesterona y estradiol. Las concentraciones séricas de colesterol (mg / ml) y progesterona (ng / ml) para los tratamientos 3% ( $116.42 \pm 2.5$ ,  $2.64 \pm 0.700$ ) y 6% ( $118.47 \pm 2.9$ ,  $3.98 \pm 0.263$ ) fueron mayores ( $p < 0.05$ ) en comparación con el grupo control ( $103.14 \pm 2.411$ ,  $2.64 \pm 0.479$ ), respectivamente. La insulina fue mayor ( $p < 0,05$ ) en el tratamiento 6% ( $3.219 \pm 0.225$ ) en comparación con el tratamiento 3% ( $2.229 \pm 0.252$ ) y 0% ( $1.987 \pm 0.33$ ), las concentraciones de estradiol (pg / dl) fueron mayores ( $p < 0.05$ ) los tratamientos 3% ( $15.533 \pm 0.917$ ) y 6% ( $14.64 \pm 0.484$ ) en el momento de la ovulación comparado con el grupo de control ( $12.41 \pm 1.364$ ). La inclusión de 3 y 6% de aceite de maíz en la dieta aumenta los niveles de colesterol, la progesterona, estradiol, y de la insulina a niveles de inclusión

superiores (6%) en ovejas de pelo tropicales, por lo que una suplementación estratégica con aceite de maíz podría ser una alternativa para influir positivamente en el comportamiento reproductivo de ovejas de pelo tropical.

Palabras clave: PUFAs, ováricos, hormonas, ovejas de pelo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate polyunsaturated fatty acids the inclusion of in the diet of tropical hair sheep and its effect on serum of progesterone and estradiol level. Twenty one ewes were used, with a starting body condition  $2.7+0.995$  points and a live weight of  $32.7 \pm 1.87$  kg. were divided in to three treatments isoenergetic (8.9 MJ/Day) and isoproteic (10.5% CP) with differing on corn oil level being used: 0% Control (n = 7), 3% ( n = 7), and 6% ( n = 7). The estrous cycles of sheep were synchronized with PGF<sub>2</sub> $\alpha$  with a seven day interval, and estrus onset was detected by using with two rams. The day of detection estrus was taken as the Day 1. Blood samples were obtained (10ml) of each ewe collected by puncture of the jugular vein, serum were stored at -20°C. Radioimmunoassays were used to determine cholesterol, insulin, progesterone and estradiol. Serum cholesterol (mg / ml) and progesterone (ng / ml) for treatments 3% ( $116.42 \pm 2.5$ ,  $2.64 \pm 0.700$ ) and 6% ( $118.47 \pm 2.9$ ,  $3.98 \pm 0.263$ ) were higher ( $p < 0.05$ ) compared with the control group ( $103.14 \pm 2.411$ ,  $2.64 \pm 0.479$ ) respectively. Insulin was higher ( $p < 0.05$ ) in treatment 6% ( $3.219 \pm 0.225$ ) compared to treatment 3% ( $2.229 \pm 0.252$ ) and 0% ( $1.987 \pm 0.33$ ), estradiol concentrations (pg/dl ) were greater ( $p < 0.05$ ) treatments 3% ( $15.533 \pm 0.917$ ) and 6% ( $14.64 \pm 0.484$ ) at the time of ovulation in the control group ( $12.41 \pm 1.364$ ). The inclusion of 3 and 6% of corn oil in the diet increase the cholesterol, progesterone, estradiol, and of insulin levels in tropical hair sheeps, so a strategical supplementation with corn oil could be an alternative to influence positively the reproductive performance of tropical hair sheep.

**Keywords:** PUFAS, Ovarian Hormones, Hair sheep.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la especie ovina, los trabajos de suplementación alimenticia con fuentes lipídicas se realizaron originalmente para elevar el valor energético de la ración buscando, entre otros aspectos, incrementar la ganancia de peso, mejorar la calidad de la carne en los corderos, la cantidad y calidad lipídica de la leche en ovejas de razas lecheras (Wood *et al.*, 2003). En años recientes, la experimentación con grasa como fuentes ricas en ácidos grasos poliinsaturados y esenciales para mejorar aspectos reproductivos de las ovejas han constituido esta especie en un modelo animal adecuado para evaluar la respuesta reproductiva de rumiantes al emplear la suplementación de ácidos grasos como estrategia para mejorar los parámetros reproductivos.

La reproducción en los rumiantes está influenciada por diversos factores tales como: especie, raza, estado fisiológico, nutrición entre muchos más. Dentro de estos la nutrición tiene un papel preponderante específicamente la energía, ya que un aporte de lípidos en la dieta representa una fuente importante de ácidos grasos y en consecuencia energía. Sin embargo, antes de plantear estrategias de suplementación lipídica es importante considerar el porcentaje de inclusión de estos en la dieta tomando en cuenta que los microorganismos del rumen solo toleran de 3 a 6 % y niveles mayores a estos causan toxicidad a los microorganismos encargados de los procesos fermentativos. Los mecanismos mediante el cual los lípidos mejoran la capacidad reproductiva del animal no son muy claros, sin embargo, se supone una mejora en el estatus energético, el cual

puede estar mediado por cambios en la hormonas metabólicas (Scaramuzzi *et al.*, 2006). El nivel de lípidos consumidos en la dieta está relacionado con la modificación plasmática de metabolitos lipídicos, el incremento en la secreción de esteroides ováricos y otras hormonas involucradas de manera indirecta en los procesos reproductivos de los rumiantes. Salas *et al.*, (2011) menciona que el aumento de lípidos en la dieta está directamente relacionado con una mayor concentración de colesterol en suero sanguíneo y lipoproteínas de alta densidad en líquido folicular, como es sabido el colesterol es precursor de la síntesis de estradiol, progesterona y por lo tanto su concentración sanguínea puede alterar de forma positiva o negativamente algunos aspectos reproductivos (Marín, 2007), otra hormona importante en los aspectos reproductivos es la insulina considerada como señal del estatus metabólico del animal, ya que puede alterar la frecuencia y concentración de LH, la respuesta ovárica al interactuar con la glucosa y la leptina (Viñoles *et al.*, 2005). En rumiantes se ha demostrado que la insulina ejerce una acción directa sobre la membrana de las células de la granulosa, acción que puede ser requerida para el desarrollo de un estatus esteroidogénico óptimo (Thomas *et al.*, 1997), lo que trae consigo un mejor desarrollo de las células del cuerpo luteo, una reducción en la síntesis de PGF<sub>2a</sub> (Mattos *et al.*, 2002) y por ende un retraso en la lutiólisis (Williams, 1989).

Todavía se desconocen los mecanismos exactos por los cuales los ácidos grasos poliinsaturados mejoran el comportamiento reproductivo de los rumiantes, y existen diversos aspectos de la fisiología animal que requieren ser estudiados para lograr un mejor entendimiento de estos efectos.

## **2. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en los niveles plasmáticos de hormonas ligadas a la reproducción en ovejas de pelo

### **2.1. Objetivo específico.**

Evaluar el efecto de los ácidos grasos poliinsaturados, sobre el perfil de estradiol, progesterona, colesterol e insulina en la reproducción de ovejas de pelo.

### **3. HIPOTESIS**

La adición de ácidos grasos poliinsaturados provenientes de la dieta, modifica las concentraciones de las hormonas ligadas a la reproducción en ovejas de pelo.

## **4. REVISION DE LITERATURA**

### **4.1. Situación actual de la ovinocultura en México**

Tradicionalmente los pequeños rumiantes en México han estado en manos de los productores más marginados de menores recursos económicos y alejados de los beneficios de la asistencia técnica y la tecnología. En la producción ovina, cada vez es más frecuente el flujo de capital financiero, dando origen a una producción pecuaria empresarial muy promisoría. Hoy en día la producción ovina en especial lo referente a la oferta, sigue dependiendo en gran medida (33%) de la importación, tanto de animales en pie como en canal, principalmente de Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y Chile (Cuellar, 2003).

De acuerdo a las tendencias observadas en los últimos 10 años, el crecimiento del valor de las importaciones ovinas mundiales mantendrá una tendencia positiva, además debido a que se espera que China aumente en forma importante su demanda de este producto, es de esperar que Nueva Zelanda y Australia, dada su ubicación geográfica e importancia como exportadores serán los proveedores naturales de esa demanda; lo que propiciara un desajuste importante en el mercado mundial de la carne de ovino (Carrera, 2008). En México se cuenta con poca eficiencia productiva de los rebaños ovinos, es decir, si el hato es de 7.2 millones de animales y se sacrifican 2.3 millones de cabezas al año, sólo se sacrifica 33% del inventario, cuando en otros países, este indicador de eficiencia superan el 50% del hato sacrificado. Esto implica que en

México cada borrega produce apenas de 10 a 15 kg de carne al año (ni un cordero) y si además le sumamos que tenemos una estructura de rebaños con 50 a 60% de ovejas de cría, bajas tasas de producción de corderos por problemas de fertilidad, más baja prolificidad, alta mortalidad, bajas tasas de destete, la situación productiva dista mucho de ser la adecuada. En contraste, el consumo de carne ovina en México ha venido creciendo en forma significativa y dicha dinámica abre una ventana de oportunidad para los productores pecuarios ya que la demanda de este producto continuara creciendo (Arteaga, 2008).

## **4.2. Características reproductivas de los ovinos de pelo**

### **4.2.1. Pubertad**

Se considera como inicio de la pubertad de la hembra el momento en que se muestra el primer celo. Sin embargo antes que este sea detectado, en el interior de la hembra suceden cambios endocrinos a nivel del eje hipotálamo - hipófisis - ovario con un desencadenamiento de la primera ovulación que no siempre estará acompañada del estro. Generalmente el primer estro ocurre entre los 4 y 10 meses de edad y está asociado principalmente al peso. Se considera que un peso entre el 40 y 60 % del peso vivo adulto es el mínimo necesario para que se manifiesten estos procesos endocrinos (Foote *et al.*, 2001).

En el ovino de pelo el peso al nacimiento y la tasa de crecimiento es muy baja respecto a otras razas ovinas en consecuencia existe un retraso en el desarrollo

genital y por tanto en la edad a la pubertad, siendo los factores indirectos climáticos o nutricionales, los que principalmente afectan su precocidad (Romualdo *et al.*, 2004).

La importancia del peso a la pubertad es decisivo ya que el primer celo observado lo manifiestan el 89 % de las hembras entre los 21,0 y 23,0 kg, además de ser un factor determinante para lograr una mayor respuesta a tratamientos de sincronización e inducción de celo mediante la aplicación del efecto macho. Se ha descrito también un efecto nutricional donde las lluvias mejoran la calidad de los pastos e influyen decisivamente en la ganancia diaria, lo cual regula de alguna manera la edad a la pubertad y la edad al primer parto. Bajo condiciones de clima tropical se ha visto que el pastoreo afecta también la edad a la pubertad, corderas alimentadas en estabulación alcanzaron la edad a la pubertad 65 a 99 días antes que aquellas mantenidas en pastoreo por 8 y 24 horas respectivamente (Porrás *et al.*, 2003)

#### **4.2.2. Estacionalidad sexual**

La estacionalidad de la reproducción, como parte del proceso de selección natural, es un mecanismo de adaptación desarrollado por algunos mamíferos silvestres como estrategia para minimizar el impacto negativo del ambiente (temperatura, humedad y disponibilidad de alimento) en la supervivencia de las crías, de manera que los nacimientos ocurren en la época más favorable del año, con abundancia de pastos y temperatura ambiental confortable. Los ovinos

presentan anualmente dos etapas fisiológicas bien definidas. Una fase de anestro estacional (días largos), con ausencia de ciclos estrales regulares, receptividad sexual y ovulación; en el macho, cesa la espermatogénesis y la libido. La otra etapa fisiológica, conocida como época reproductiva (días cortos), se caracteriza por la ocurrencia de ciclicidad estral, conducta de estro y ovulación en la hembra; en el macho, se restablece la espermatogénesis y el deseo sexual (Arroyo, 2011). El fotoperiodo es el factor ambiental primario que regula estos eventos, la oveja posee un sistema neurofisiológico capaz de transformar la señal luminosa en una señal hormonal a través de la síntesis de melatonina y de esta manera detecta las variaciones anuales en la duración del fotoperiodo (Malpaux *et al.*, 2002). El origen de la raza determina el comportamiento reproductivo estacional; por lo tanto, las razas originarias de latitudes altas ( $>35^\circ$ ) presentan una marcada estacionalidad reproductiva y los ovinos de origen mediterráneo o ecuatorial, expresan estacionalidad reproductiva reducida y en ocasiones inexistente (Valencia *et al.*, 2006; Arroyo *et al.*, 2007).

#### **4.2.3. Eficiencia reproductiva**

La eficiencia reproductiva depende de la tasa de concepción (fecundidad) o proporción de ovejas montadas que conciben, la tasa de nacimientos (fertilidad) o número de corderos nacidos por oveja y el porcentaje de partos o número de corderos nacidos por cada 100 hembras expuestas. Estas tasas dependen de la tasa de ovulación (número de óvulos liberados por estro), la cual establece el límite superior para el porcentaje de partos. El carácter prolífico es la cantidad

relativa de descendencia viva producida en un intervalo específico, por ejemplo un año. Las tasas de concepción son de alrededor del 85% en ovejas, la tasa de nacimientos promedio es de 150%.

Existen notables diferencias en la tasa de ovulación como resultado de diferencias en raza, edad, año, época y nutrición. La fecundidad se deprime en el área del Ecuador hacia el comienzo y el final de la temporada reproductiva. También lo hace en climas cálidos, en hembras desnutridas o con sobrepeso, en hembras jóvenes o viejas, cuando el forraje presenta alto contenido de estrógeno y cuando las hembras sufren parasitosis, otras enfermedades o estrés. Es común que las ovejas de la mayoría de las razas de pelo arrojen más de un cordero por parto y que paran más de una vez al año, lo que incrementa sustancialmente la cosecha anual de corderos. (Rojas, 2000).

#### **4.2.3.1. Fertilidad**

La fertilidad se refiere al número de borregas paridas entre el número total de borregas expuestas al macho en un intervalo de tiempo. El porcentaje de fertilidad general es de 75 a 85% (García, 2008).

#### **4.2.3.2. Prolificidad.**

Se entiende como prolificidad el número total de corderos nacidos entre el total de borregas paridas (Soto, 2008). En ovejas no sometidas a tratamientos

hormonales la prolificidad varía entre 1.17 y 1.48 crías por parto, los índices de prolificidad para la razas de pelo es de 1.5 - 1.9 (Reyes, 2006). El Porcentaje de prolificidad depende de los siguientes factores: raza, edad, número del parto (en el primer parto todas las hembras presentan una menor prolificidad, la cual va aumentando hasta el cuarto o quinto parto), época de cubrición (en otoño es mayor la tasa de ovulación) y alimentación durante la época de empadre. En términos generales se considera óptimo un porcentaje de prolificidad del 150 al 250% (García, 2008).

### **4.3. Bases fisiológicas del ciclo sexual en la oveja**

#### **4.3.1. Ciclo sexual y actividad reproductiva**

En los mamíferos, el ciclo sexual se caracteriza por una sucesión de fases foliculares y luteales en el ovario de forma sincronizada y repetitiva, y en aquellos de ciclo estral, por la presencia de un periodo de receptividad sexual de duración variable que finaliza con la ovulación, la duración del ciclo estral de la oveja, tiene una duración media de 16 a 17 días.

En el ciclo sexual de la oveja se diferencian dos fases: a) una fase luteal o progestacional y b) una fase folicular o estrogénica. La fase luteal posee una duración aproximada de 14 días y se caracteriza por la presencia de uno o más cuerpos lúteos (CLs) en crecimiento o regresión que secretan progesterona (P4). Se ha observado que el tamaño de tejido luteal se correlaciona con las

concentraciones de P4 en plasma sanguíneo (González-Bulnes *et al.*, 2000), estos niveles de P4 alcanzan concentraciones máximas entre los días 5 y 13-14 del ciclo, momento en que se inicia la luteolisis (Sangha *et al.*, 2002). La fase folicular o estrogénica se caracteriza por la presencia de uno o más folículos en crecimiento continuo hasta alcanzar la ovulación, los cuales secretan altos niveles de estradiol-17 $\beta$  (E2-17  $\beta$ ) e inhibina. Asimismo, esta fase consta de un período de receptividad sexual denominado celo, cuya duración puede oscilar entre 10 y 53 horas (Navarro y Torres, 1985).

Estos ciclos sexuales se repiten de forma continua a lo largo de la vida reproductiva del animal; excepto en los periodos de anestro de origen: estacional, gestación, lactación o post-parto. Los periodos de anestro estacional se relacionan con la característica actividad sexual estacional de la especie ovina, determinada por las variaciones de las horas de luz a lo largo del año (fotoperiodo) ajustada a la latitud en que se encuentren los animales y modulada por la raza (Arroyo *et al.*, 2007). Las ovejas de razas europeas y mantenidas en latitudes alejadas de la línea ecuatorial, presentan una mayor actividad sexual durante la época del año en que el número de horas de luz es menor. Este mecanismo garantiza la supervivencia de la especie, haciendo coincidir los nacimientos con la época más favorable del año (primavera), cuando la temperatura ambiental y la abundancia de alimentos permiten maximizar la supervivencia de los corderos, contrariamente, el efecto de la estacionalidad se ve reducido a medida que nos acercamos a la línea ecuatorial, donde la duración de las horas de luz y de oscuridad llegan a igualarse (Goodman e Inskeep, 2006)

En las ovejas de raza tropical, la estacionalidad sexual está sujeta principalmente a la disponibilidad de la oferta forrajera, determinada por dos estaciones: una de alta y otra de baja o escasa pluviometría. No obstante, el efecto que pudiera ejercer el fotoperíodo sobre estas razas (como en la Pelibuey) en zonas subtropicales es todavía discutido. Existen trabajos, llevados a cabo en latitudes cercanas a los 19° N, donde se describe una relativa estacionalidad, que se traduce en una reducción de la actividad sexual durante los meses de marzo a abril (Arroyo *et al.*, 2007).

#### **4.3.2. Control neuroendocrino del ciclo estral**

El control neuroendocrino del ciclo sexual de la hembra, se lleva a cabo mediante el eje hipotálamo-adenohipófisis, a través de la liberación de diferentes tipos de hormonas que controlan la función gonadal. Así, el hipotálamo produce la hormona liberadora de la gonadotropinas o GnRH, la cual ejerce su acción a nivel de la adenohipófisis, quien sintetiza y libera las hormonas foliculoestimulante (FSH) y la luteinizante (LH) ( Goodman *et al.*, 2002). Así mismo la secreción endocrina ovárica de E2-17  $\beta$  y P4 (respectivamente de origen folicular y luteal), controla la secreción de GnRH en el hipotálamo. Complementariamente, existen otras hormonas y factores de crecimiento, tales como folistatina, activina, inhibina y factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF), involucrados tanto en el control de la liberación de las gonadotropinas como en el desarrollo folicular (Padmanabhan *et al.*, 2002).

#### **4.3.2.1. GnRH**

La hormona liberadora de las gonadotropinas, también llamada hormona liberadora de la LH (LHRH), es un decapeptido sintetizado por neuronas especializadas del hipotálamo. Esta hormona es sintetizada y almacenada en gránulos que son transportados por axones que se dirigen hacia la zona externa de la eminencia media. Posteriormente es liberada en pulsos sincronizados, cuya frecuencia puede variar entre 30-120 minutos, hacia el sistema porta hipofisario; estos pulsos estimulan la biosíntesis y secreción de FSH y LH por parte de las células gonadotropas de la adenohipófisis. Cada pulso de secreción de GnRH estimula un pulso de LH; sin embargo, la relación de estos pulsos con los de FSH está menos clara (Millar, 2005). En el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, el patrón de secreción de GnRH está regulado por las concentraciones de esteroides gonadales tales como P4, E2-17  $\beta$  o testosterona en el caso del macho (Clarke y Pompolo, 2005).

#### **4.3.2.2. FSH y LH.**

Hormonas de naturaleza glicoproteica, compuestas por dos subunidades ( $\alpha$  y  $\beta$ ) unidas por enlaces no covalentes. Ambas subunidades son sintetizadas por las células gonadotropas de la adenohipófisis. La subunidad  $\alpha$  es común para ambas hormonas, mientras que la  $\beta$  es específica para cada una de ellas (Childs, 2006). La FSH es la encargada de estimular el desarrollo folicular ovárico, actuando a nivel de las células de la granulosa del folículo y estimulando la activación de las

aromatasa, las cuales terminan el proceso de síntesis desde androstenediona hasta estradiol. La LH estimula la síntesis de androstenediona por parte de las células de la teca interna durante el desarrollo folicular. Además, es la responsable de estimular la ovulación, la formación y mantenimiento del CL (Childs, 2008).

#### **4.3.2.3. Hormonas esteroideas ováricas**

Como se mencionó anteriormente, el E2-17  $\beta$  y la P4 son los esteroides más importantes en el control del ciclo sexual de la hembra. Dentro de los estrógenos más importantes del fluido folicular se encuentran el E2-17  $\beta$  y la estrona (E1). Su síntesis se realiza en las células de la granulosa a través de la aromatización de la androstenediona. El E2-17  $\beta$  induce la fase de receptividad sexual o celo durante el ciclo sexual de las hembras de los mamíferos, controlan la secreción de la FSH por medio de un mecanismo de retroalimentación. La P4 es el principal progestágeno producido, a nivel ovárico, tanto por la teca interna (solo en el proceso de síntesis y no como secreción) del folículo como por el CL. Su principal función es preparar el útero para la implantación del embrión y el mantenimiento de la gestación (Padmanabhan *et al.*, 2002).

#### **4.3.2.4. Activina, inhibina y follistatin**

Son péptidos producidos principalmente en las células de la granulosa del folículo ovárico que regulan el crecimiento folicular controlando la liberación de FSH. La

activina e inhibina son dímeros que constan de una subunidad  $\alpha$  y dos  $\beta$  ( $\beta A$  y  $\beta B$ ); ambos dímeros están relacionados con el factor de crecimiento transformador  $\beta$  (TGF- $\beta$ ). La inhibina tiene como función suprimir la producción y la secreción de FSH, mientras que la activina tiene el efecto contrario. En relación a la folistatina, es un monómero que se une a la subunidad  $\beta$  de la activina y de la inhibina modulando su acción sobre la secreción y liberación de FSH (Robertson, 1992).

#### **4.3.2.5. Factores de crecimiento**

Los factores de crecimiento se clasifican según su estructura y actividad biológica; entre los principales implicados en la actividad ovárica destacan el factor de crecimiento epidermal (EGF), el factor de crecimiento fibroblástico (FGF), el factor de crecimiento derivado de las plaquetas (PDGF), TGF- $\beta$ , factores de crecimiento hematopoyético (citoquinas) y el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF). Estos factores están directamente involucrados en la regulación de la proliferación y diferenciación celular (Webb *et al.*, 1999).

#### **4.3.2.6. Prostaglandinas**

Son hormonas derivadas del ácido araquidónico la más importante para el mantenimiento de la ciclicidad sexual es la prostaglandina F $2\alpha$  (PGF $2\alpha$ ). Su principal fuente de producción es el endometrio, a través de la prostaglandina endoperóxido H sintetasa (PGS). En las etapas finales del ciclo estral se produce

una síntesis de receptores endometriales, y la oxitocina proveniente del CL estimula la producción de  $\text{PGF2}\alpha$ , la cual es sintetizada y secretada al torrente sanguíneo a través de la vena uterina y es transferida por un mecanismo de contracorriente, mediante anastomosis desde la vena uterina hacia la arteria ovárica para ejercer su acción luteolítica por disminución del flujo sanguíneo local, con la consiguiente disminución de la producción de P4. (Grant *et al.*, 2003)

#### **4.4. Dinámica folicular**

La dinámica folicular es definida como un proceso continuo de crecimiento y regresión de folículos antrales, que finaliza en la atresia o la ovulación. Inicialmente, existían discrepancias en cuanto a la forma de cómo se producían estos patrones de crecimiento y regresión/ovulación en la oveja, ya que en un principio se creía que el crecimiento del folículo era continuo a lo largo del ciclo (Viñoles, 2005). Sin embargo, está determinado por los patrones de secreción de FSH los cuales provocan el procesos de reclutamiento folicular. A su vez, los folículos en crecimiento secretan estradiol, inhibina y folistatina, que provocan un descenso en la liberación de FSH, iniciando el proceso de selección que culmina en el proceso de dominancia (Padmanabhan *et al.*, 2002).

La dominancia folicular se ejerce a través de la reducción de los niveles de FSH hasta niveles muy bajos; los folículos no dominantes entran en atresia y desaparecen. Por otro lado, los fenómenos de diferenciación de los folículos dominantes, tanto desde el punto de vista morfológico como funcional, no sólo

interfieren en el desarrollo de los folículos subordinados, sino que estimulan su propio desarrollo. Esto se lleva a cabo tanto por la secreción de estradiol, como de factores de crecimiento que amplifican la respuesta del folículo dominante a las gonadotropinas inicialmente, el estradiol ejerce una interacción con la FSH a nivel folicular estimulando la síntesis y secreción de IGF-I; este factor ejerce una actividad autocrina en estos grandes folículos. A su vez, este aumento de la producción del IGF-I es paralelo al aumento de la receptividad de las células de la granulosa a este factor de crecimiento; pudiendo estimular a través de la aromatización, una mayor producción de estradiol, así como un mayor número de receptores para LH. El IGF-I juega, de esta forma un papel destacado sobre el mantenimiento de la fase de dominancia. Existen otros factores tales como el TGF- $\beta$  y la activina, que regulan la actividad esteroideogénica y la proliferación de las células de la granulosa, respectivamente (Knight y Glister, 2001) y las proteínas morfogénicas óseas (BMPs), las cuales están asociada a la maduración del folículo y al aumento de la tasa de ovulación (Webb *et al.*, 2003).

#### **4.4.1 Ovulación**

La ovulación es un proceso reproductivo indispensable para la propagación de las especies, en esencia, consiste en la ruptura de la pared del folículo ovárico y la liberación de su contenido incluyendo el oocito maduro, para dar lugar a un cuerpo lúteo, el inicio de la ovulatorio varía entre las diferentes especies de mamíferos. En el caso de la oveja el inicio ocurre entre 21 a 33 horas después del comienzo del celo; caracterizándose por presentar cambios en la

ultraestructura de la pared folicular, específicamente a nivel del ápex o estigma. Estos cambios se inician aproximadamente una hora antes de la ruptura folicular (Espey, 1994).

En el folículo ovulatorio pueden distinguirse cinco capas celulares que son: a) la superficie epitelial, compuesta por células cuboides; b) la túnica albugínea, constituida por una cubierta de fibroblastos y colágeno que a su vez rodea a todo el ovario y que presenta entre 5 y 7 capas de células; c) la teca externa, que está formada por cinco a siete capas de células; d) la teca interna, que tiene un grosor de 2 células y e) el estrato granuloso, que consta de unas cinco a siete capas de células, excepto en donde las células forman un pedestal denominado *cumulus oophorus* que sostiene al oocito. Asimismo, existe una membrana basal que separa a las células de la granulosa de la teca interna. Los capilares de la teca interna no penetran dicha lámina basal para entrar en la granulosa con lo que ésta se convierte en un estrato avascular. Una característica importante de la granulosa, es que elabora una red de uniones "gap" que une a las células formando un sincitio funcional. Los intercambios nutricionales y electrolíticos de este sincitio pueden permitir que la granulosa influya sobre el metabolismo del oocito y *viceversa* (Espey, 1994).

#### **4.4.2. Crecimiento, desarrollo y función del cuerpo lúteo**

El Cuerpo Lúteo (CL) es una glándula endocrina temporal formada por células provenientes del folículo ovulatorio. El parénquima luteal es un complejo de células luteales denominadas grandes y pequeñas, que provienen de las células de la granulosa y de la teca interna, respectivamente. El estroma está constituido por fibroblastos, músculo liso vascular, pericitos y células endoteliales, la principal función del CL es secretar P4 para mantener una posible gestación (Borowczyk *et al.*, 2006).

El crecimiento y función del CL depende prácticamente del desarrollo vascular; siendo este a su vez dependiente de factores angiogénicos. Entre ellos, los principales son el factor de crecimiento fibroblástico y el factor de crecimiento vasculo endotelial, siendo este último el de mayor importancia sobre el desarrollo vascular del CL.

La función principal del CL es la síntesis y secreción de progesterona a partir del colesterol, el cual es sintetizado por el hígado y pasa al torrente circulatorio donde es captado por la célula luteal que lo almacena y posteriormente procesa por medio de enzimas. El colesterol es transportado por el citoesqueleto de la célula hacia la membrana interna de la mitocondria por una proteína reguladora aguda de la esteroidogénesis (StAR) y por un receptor periférico de la benzodiazepina (PBR). Una vez en la mitocondria, el sistema enzimático del citocromo P450 convierte el colesterol en pregnonelona; la cual a su vez, pasa al retículo

endoplásmico liso para ser convertida en P4 por la 17  $\beta$ -hidroxiesteroide deshidrogenasa (17  $\beta$ -DHS). Cabe destacar que hasta un 80% de la P4 producida por el CL proviene de las grandes células luteales (Borowczyk *et al.*, 2006).

La producción de P4 por unidad de tejido funcional por célula es similar en las etapas iniciales y en las etapas avanzadas de crecimiento del CL. Esto sugiere que las menores concentraciones sistémicas de P4 correspondientes a la etapa inicial de formación y crecimiento del tejido luteal se deben más a una menor cantidad de tejido luteal y a una baja vascularización que a una reducida capacidad de producir P4 *per se*. El mantenimiento de la función luteal se debe principalmente a la acción de la LH y la hormona de crecimiento; sin embargo, existen otras sustancias involucradas, tales como IGF-I, PGE2 y PGI2, que también incrementan la producción de P4 (Borowczyk *et al.*, 2006).

Cuando no se establece la gestación, desde el endometrio se inician los procesos que conducen a la lisis del CL. Esta se produce por la acción de la PGF2 $\alpha$ , la cual se sintetiza y libera en el endometrio uterino. La producción de PGF2 $\alpha$  es a su vez, inducida por la oxitocina sintetizada por el CL, la cual ejerce su acción a través de receptores localizados a nivel del endometrio materno (Borowczyk *et al.*, 2006).

El mecanismo de acción de la PGF2 $\alpha$  se basa en una reducción del flujo vascular y por otra, en una disminución de la producción de P4 a través de la acción de

segundos mensajeros (principalmente la proteinquinasa C, PKC). Esta disminución de la esteroidogénesis se produce mediante la interrupción del mecanismo de transporte del colesterol a través de la mitocondria y mediante una disminución del ARNm que codifica la 17 $\beta$ - dihidroxilasa (17  $\beta$ -DHS) (Juengel y Niswender, 1999).

Estos procesos que tienen lugar durante la luteolisis coinciden con la fase decrecimiento de una onda folicular, el conjunto de ambas constituyen la fase folicular del ciclo sexual. Esta se caracteriza por una disminución de los niveles de P4, que dan lugar a una mayor liberación de LH; necesaria para el desarrollo, maduración y ovulación del folículo ovulatorio. Por el contrario, si no se produce la luteolisis, los altos niveles de P4 mantienen en niveles basales (pulsos de baja frecuencia) las concentraciones de LH; en consecuencia, el crecimiento del folículo seleccionado se desacelera, sufriendo un proceso de atresia que conduce a la aparición de una fase de reclutamiento folicular y una nueva onda de desarrollo folicular (Lopez-Sebastian *et al.*, 1997).

#### **4.5. Suplementación lipídica**

Uno de los principales problemas que disminuyen la producción ya sea de carne o leche de rumiantes, son los eventos endocrinos que tienen lugar durante el periodo posparto, modificando la eficiencia reproductiva tanto de novillas como hembras adultas. Mientras que en la especie ovina, los trabajos de suplementación alimenticia con fuentes lipídicas se realizaron originalmente para

elegir el valor energético de la ración y mejorar la ganancia de peso y calidad de la carne en los corderos, así como la cantidad y calidad lipídica de la leche en las razas lecheras (Wood *et al.*, 2003); sin embargo, a partir de la experimentación con grasa de sobrepeso y fuentes ricas en Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGPI) y esenciales sobre aspectos reproductivos, las ovejas constituyen un modelo animal ideal para evaluar los AG y su potencial de respuesta reproductiva en rumiantes.

#### **4.6. Fuente de ácidos grasos**

La suplementación a base de lípidos en los rumiantes ha sido usada en los últimos años para incrementar la concentración de energía en la dieta y disminuir los efectos del balance energético negativo que experimentan los animales alimentados de manera tradicional (Garnsworthy, 2002), especialmente aquellos que son mantenidos en pastoreo. Una gran variedad de fuentes de grasa han sido utilizadas para la suplementación en ganado bovino bajo condiciones experimentales. Algunas de ellas incluyen grasas vegetales o animales, sebo, grasa amarilla, harina de pescado, grasas hidrogenadas, jabones de calcio, ácidos grasos libres, y semillas de algodón, soya, canola, cacahuate, cártamo, girasol, entre otras (Funston, 2004)

#### **4.7. Ácidos grasos y su importancia en la reproducción**

El uso de grasa en la dieta para influir positivamente en la reproducción de los rumiantes ha despertado el interés de varios investigadores (Staples *et al.*, 1998; Hess, 2003; Funston, 2004). Las investigaciones realizadas sobre la suplementación de grasa han sido encaminadas en vacas de uno o más partos, y en novillas de reemplazo. Las grasas han sido suministradas antes y después del parto. Debido a que algunos AG son esenciales para los mamíferos y al papel de algunos de éstos AG sobre los procesos reproductivos, es posible que la reproducción del ganado sea influenciada más por el tipo de lípidos consumidos que por el consumo total de grasa. Esto es particularmente importante ya que los rumiantes hidrogenan en el rumen los AGPI, limitando el aporte de AGI de la dieta que serán absorbidos en el intestino delgado (Baldassarre *et al.*, 1994, Santos *et al.*, 2008). No obstante, es posible que algunos AGI específicos logren pasar intactos por el rumen y sean absorbidos en el intestino delgado, pudiendo mejorar la eficiencia reproductiva directamente en el tejido blanco del aparato reproductor de la hembra (de manera autocrina o paracrina), o por un efecto indirecto mediado por el sistema endocrino (Staples y Thatcher, 2005). Algunas de las variables de respuesta que han sido estudiadas son: edad a la pubertad, dinámica folicular, intervalo parto ovulación, porcentaje de concepción a primer servicio, porcentaje de preñez, intervalo entre partos, dificultad de parto, entre otros (Fuston, 2004). Para determinar los mecanismos potenciales de acción, los científicos han investigado la dinámica folicular, perfiles y cambios hormonales, función del eje hipotálamo-hipófisis-gónada y desarrollo embrionario (Fuston,

2004). El efecto de la suplementación grasa sobre el comportamiento reproductivo en rumiantes no es totalmente claro. Muchos de los datos publicados provienen de estudios que tienen mayor énfasis en objetivos nutricionales que reproductivos (Funston, 2004). La suplementación grasa en cantidades moderadas normalmente estimula la producción de leche debido a su alta concentración de energía, pero su impacto en la reproducción es menos consistente (Staples y Thatcher, 2005).

#### **4.7.1. Síntesis de hormonas**

Cuando los lípidos son incluidos en la dieta de los rumiantes para incrementar la concentración de energía, puede mejorar el balance calórico en el animal e influir por esta u otra vía en la actividad hipofisaria-gonadal durante el periodo posparto. La energía proporcionada por los lípidos suplementarios incrementa la secreción de Hormona Luteinizante (LH) en animales que han estado consumiendo menos calorías de las requeridas. Sin embargo, no se ha definido con claridad algún mecanismo independiente de la energía para tal efecto (Adamiak *et al.*, 2005)

En ovejas, el efecto positivo de la suplementación con grasas y aceites se ha atribuido al aporte energético de los lípidos, especialmente en hembras con balance energético negativo (Mattos *et al.*, 2000). Aunque existen evidencias que señalan que después de la suplementación con grasa aumentan los niveles séricos o foliculares de colesterol, insulina, somatotropina, leptina y AG no

esterificados, relacionándose con una mejor respuesta endocrina del eje hipotálamo hipófisis-gónada o del desarrollo folicular ovárico, los resultados publicados son variables e inconsistentes al respecto, por lo que la respuesta endocrina en los ovinos a partir de la suplementación con lípidos no se ha esclarecido totalmente (Wonnacott *et al.*, 2010). Con base en los resultados presentados por Espinoza *et al.*, (2008), existe un mayor nivel sérico de insulina en ovejas alimentadas con grasa de bovino en comparación a las alimentadas con granos (2.5 vs 1.7 ng/ml), igualmente la somatotropina aumenta en promedio de manera significativa en las ovejas suplementadas con dicha fuente energética. Sin embargo, estudios realizados en ovejas Pelibuey muestran que aunque con la suplementación de AG aumenta la respuesta ovárica, las concentraciones de FSH e insulina no siempre muestran diferencias importantes entre hembras suplementadas con aceite y las no suplementadas (Herrera *et al.*, 2003).

El colesterol es el principal sustrato para la síntesis de progesterona en el cuerpo lúteo (Childs *et al.*, 2008). De esta manera, la suplementación de AG puede incrementar la concentración de P<sub>4</sub> plasmática (Lopes *et al.*, 2009) y asociarse positivamente con las tasas de preñez ya que dicha hormona regula las secreciones endometriales (Gray *et al.*, 2001) y los cambios en la estructura endometrial que son fundamentales para el desarrollo adecuado del embrión (Wang *et al.*, 2007).

La P<sub>4</sub> y su relación con los AG poliinsaturados es inconsistente. En un estudio se observó un incremento de la producción de P<sub>4</sub> *in vitro*, cuando se cultivaron

células de la granulosa de cabras en un medio enriquecido con ácido linoleico, pero no con ácido  $\alpha$ -linolénico (Coyral-Castel *et al.*, 2010). Estudios in vitro indican que el metabolismo de la P<sub>4</sub> puede ser inhibido por concentraciones altas de ácido  $\alpha$ -linolénico en el medio de cultivo (Piccinato *et al.*, 2010). Si esto ocurre in vivo, tal vez se relaciona con que, ciertos AGPI pueden incrementar la concentración sérica de insulina y esta a su vez, reduce la expresión hepática de algunas enzimas del complejo citocromo P450 que catabolizan la P<sub>4</sub> (Lemley *et al.*, 2008). La relación de los AGPI con la síntesis de hormonas esteroides ha sido explicada con mayor detalle partiendo del efecto del ácido araquidónico en la maquinaria de la esteroidogénesis [proteína reguladora aguda de esteroides (STAR), citocromo P450, etc.]; o a través de las prostaglandinas (Wathes *et al.*, 2007).

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en una explotación pecuaria particular en Tuxtepec Oaxaca, localizada en las coordenadas Latitud Norte 18°04'52" y, Latitud Oeste 96°07'07. Presenta un clima cálido húmedo Af (m); con un régimen pluviométrico de 4,100 mm anuales y una temperatura media de 25° C ( INEGI 2011).

### 5.2. Animales, manejo y alimentación

Se utilizaron 21 ovejas de pelo, adultas multíparas y secas, con una condición corporal (CC) al inicio del experimento de  $2.7 \pm 0.995$  puntos en la escala de 1 a 5 según Russel *et al.* (1969) y un peso vivo (PV) de  $32.1 \pm 1.87$  kg. Las ovejas fueron mantenidas en estabulación completa por un periodo de 28 días, distribuidas al azar en tres tratamientos: Tratamiento testigo 0%, (n=7), 600 g de pasto Pangola + 400 g de maíz molido; Tratamiento aceite de maíz al 3% (n=7), 700 gr de pasto Pangola + 250 g de maíz molido + 30 gr de aceite de maíz; Tratamiento aceite de maíz al 6% (n=7) 820 g de pasto Pangola + 120 g de maíz molido + 60 g de aceite de maíz, las dietas fueron balanceadas de acuerdo al ARFC (1993), los cambios de peso vivo y condición corporal fueron registrados al inicio y al final del experimento.

### **5.3. Sincronización y detección de celos**

Los ciclos estrales fueron sincronizados con la aplicación intramuscular de 2.5 ml de PGF2 $\alpha$  (Lutalyse, FIZER) en el día 0, seguido por una segunda aplicación el día 7. La presencia de celo fue detectada con la ayuda de dos machos vasectomizados en los días 8 y 9, sobre celo detectado se tomó el día 1, el día que manifestaron celo.

### **5.4. Muestreo sanguíneo y determinación en laboratorio**

Se obtuvieron muestras de sangre (10 ml) de cada borrega, las cuales fueron colectadas mediante punción de la vena yugular utilizando tubos vacutainer con EDTA (10%). Las muestras se mantuvieron en refrigeración por menos de 60 min, se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 min y se conservó el plasma a -20°C hasta su análisis, cada hormona fue tomada en diferentes tiempos como a continuación se describe:

#### **5.4.1. Insulina**

Las muestras fueron colectadas el día que las ovejas manifestaron celo (día 1 del ciclo estral), 8 h posteriores al último suministro de alimento, se colectaron las muestras sanguíneas a intervalos de 3 hrs por un periodo de 15 h, las concentraciones de insulina fueron determinadas por radioinmunoanálisis de acuerdo a las especificaciones de un kit comercial (Insulin Count a Count, DPC,

USA), los coeficientes de variación intra e inter ensayo para insulina fueron de 11.1 y 13.5%, respectivamente

#### **5.4.2. Progesterona y colesterol**

Para esta determinación se utilizaron las muestras tomadas el día 9 del ciclo estral (fase lútea), la determinación de progesterona se realizó mediante radioinmunoanálisis mediante un estuche comercial (DPC, TKPGX, LAG, USA.), el coeficiente de variación intra e inter ensayo fue de 6.54 y 2.92% respectivamente, la determinación de colesterol fue mediante un método enzimático con un kit comercial (Sera Pak Plus, Bayer Germany)

#### **5.4.3. Estradiol**

Las muestras fueron tomadas 12 h posteriores a la última aplicación de PGF2 $\alpha$  (-2 días), el día que manifestaron celo (día 0) y el día 2 del ciclo estral y fueron analizadas por radioinmunoanálisis con un kit comercial (DCP, California, USA)

### **5.5. Análisis estadístico**

Los cambios de peso vivo, condición corporal, progesterona y colesterol fueron analizados mediante un ANOVA, la insulina y estradiol fueron analizados usando un ANOVA de dos vías, donde los tratamientos y el intervalo de tiempo fueron

los efectos fijos. El análisis de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico SPSS para Windows.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso vivo de las ovejas al inicio y final del experimento, la ganancia diaria de peso, condición corporal inicial y final, se observan en la tabla 1, el comportamiento fue similar ( $P = 0,05$ ) entre los tratamientos 0%, 3% y 6% esto es debido a que las dietas fueron balanceadas procurando que fueran isoenergéticas y que permitiera que los animales ganaran entre 60 y 80 g/d, lo cual se cumple en los tratamientos 0% y 3%, sin embargo, para el tratamiento 6% la ganancia de peso fue menor a la estimada, es importante señalar que conforme aumentó el nivel de aceite en la dieta la ganancia de peso decreció, esto puede ser explicado debido a que la adición de fuentes grasas  $\geq 6\%$  en base a la materia seca de las dietas provocan una depresión de la digestibilidad de la materia seca, fibra y energía, cambiando el patrón de fermentación (Hess *et al.*, 2008). Jenkins *et al.*, (2002) alimentaron ovejas con dietas basadas en pasto y maíz adicionadas con aceite de soya, observaron un decremento en la proporción de los ácidos acético: propionico. En este sentido, animales en engorda se ha demostrado una menor eficiencia de la energía cuando se produce una mayor concentración de ácido acético caso contrario, un aumento en la proporción molar del ácido propionico generalmente se traduce en una mejor ganancia de peso (Orskov y Allen, 1966).

**Tabla 1** .Peso vivo inicial y final (kg), cambios de peso (g/d) y condición corporal de ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados.

Variable	Tratamiento		
	0%	3%	6%
Peso vivo inicial	32.00 ± 1.98 <sup>a</sup>	32.70 ± 1.63 <sup>a</sup>	31.66 ± 2.04 <sup>a</sup>
Peso vivo final	35.26 ± 2.04 <sup>a</sup>	35.50 ± 1.57 <sup>a</sup>	34.20 ± 1.98 <sup>a</sup>
Ganancia diaria de peso	72.57 ± 0.018 <sup>a</sup>	63.00 ± 0.012 <sup>a</sup>	48.85 ± 0.016 <sup>a</sup>
Condición corporal inicial	2.80 ± 0.923 <sup>a</sup>	2.60 ± 1.031 <sup>a</sup>	2.70 ± 1.033 <sup>a</sup>
Condición corporal final	3.30 ± 1.418 <sup>a</sup>	3.10 ± 1.505 <sup>a</sup>	3.00 ± 1.567 <sup>a</sup>

a, b, c. Literales en la misma fila indican diferencia significativa (P<0.05)

**DE:** Desviación estándar.

En la Tabla 2, se muestran la concentración sérica de progesterona y colesterol, el comportamiento es similar entre los tratamientos 3% y 6%. Sin embargo, existe una diferencia (P<0.05) comparado con el grupo control (0%) en la fase lútea del ciclo estral. Como se puede observar a mayor nivel de aceite en la dieta, aumenta el nivel de colesterol y por ende las concentraciones de progesterona. Estos resultados pueden ser debido al efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados provenientes de la dieta, ya que diversos estudios han demostrado que la adición de estos incrementa la concentración energética de las raciones y con ello se promueve la producción de hormonas de naturaleza esteroide (Aranda *et al.*, 2002). Existen evidencias que señalan que después de la suplementación con lípidos aumentan los niveles séricos o foliculares de

colesterol y progesterona en sangre (Staples *et al.*, 1998), dando como resultado una mayor vida media del cuerpo luteo (Williams y Stanko, 2000). Por su parte, Ghoreishi *et al.*, (2007) señala que un aumento de la progesterona plasmática en ovejas suplementadas con ácidos grasos resulta de gran importancia sobre todo cuando estas concentraciones se mantienen en la fase lútea del ciclo estral, ya que genera un efecto positivo para el establecimiento de la preñez y su mantenimiento, el colesterol parece ser el responsable de la síntesis de progesterona, por tal motivo, el aumentar la disponibilidad de colesterol genera un efecto positivo en el comportamiento reproductivo (Santos *et al.*, 2008), por su parte Wehiman *et al.*, (1991), informa que células luteales provenientes de vacas alimentadas con 6.6% lípidos en la dieta, tienen una mayor secreción de pregnenolona y progesterona en comparación a las que recibieron el 2.2%. Otro factor a considerar es el efecto que ejercen los ácidos grasos en la síntesis de prostaglandinas, los cuales pueden servir como precursores o inhibidores de la síntesis de  $\text{PGF}_2\alpha$  dependiendo de la concentración del ácido graso en particular en los tejidos donde se sintetizan (Mattos *et al.*, 2000), en células del epitelio uterino ovino se ha demostrado una reducción hasta del 50% de la  $\text{PGF}_2\alpha$ , cuando estas son tratadas con ácido linoleico y linoléico (Zhangrui *et al.*, 2005), por su parte Harris *et al.*, (2001) informa que algunos isómeros del ácido linoleico conjugado también pueden inhibir la síntesis de  $\text{PGF}_2\alpha$  y por ende un retraso en la luteolisis.

**Tabla 2.** Concentraciones séricas de Progesterona ( $\pm$  DE) (ng/ml) y Colesterol ( $\pm$  DE) (mg/dl) en la fase lutea del ciclo estral en ovejas de pelo suplementadas con tres niveles ácidos grasos poliinsaturados.

Variable	Tratamiento		
	0%	3%	6%
Colesterol	103.14 $\pm$ 2.4 <sup>b</sup>	116.42 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>	118.47 $\pm$ 2.9 <sup>a</sup>
Progesterona	2.64 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	3.31 $\pm$ 0.499 <sup>a</sup>	3.98 $\pm$ 0.263 <sup>a</sup>

a, b, c. Literales en la misma fila indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ )

**DE:** Desviación estándar.

Las concentración séricas de insulina (Tabla 3 ) es afectada por el mayor nivel de aceite (6%) incluido en la dieta ( $P < 0,05$ ) en comparación a las concentraciones de las ovejas que consumieron 0% y 3% de aceite de maíz. Los niveles medios de insulina (ng/ml) en el presente trabajo para los tratamientos 0%, (1.987  $\pm$  0.33), 3% (2.229  $\pm$  0.252), y 6%, (3.219  $\pm$  0.225), son similares a los reportados por Espinoza *et al.*, (2008) al suplementar ovejas con grasa bovina (2.5  $\pm$  0,11), la dieta testigo (1.78  $\pm$  0,11 ) y jabones de calcio de ácidos grasos (1.72  $\pm$  0,11), por su parte Herrera *et al.*, (2003), informa que no existe diferencia entre los niveles de dicha hormona en ovejas alimentadas con 0 y 3% de aceite de maíz, situación que se vuelve hacer presente en este trabajo. Williams and Stanko, (2000), informa una mayor concentración de insulina en vacas

suplementadas con ácidos grasos poliinsaturados, debido a que el ácido linoleico que estos contienen aumenta la producción de propionato el cual actúa como promotor de la secreción de insulina y evita la movilización de grasa del tejido adiposo, una elevada concentración de insulina reduce la expresión hepática de la progesterona, enzimas catabólicas P450 2C y P450 3A (Lemley *et al.*, 2008) y aumenta las concentraciones circulantes de P4 (Moriel *et al.*, 2008, Lopes *et al.*, 2009)

**Tabla 3.** Concentraciones séricas de Insulina ( $\pm$  DE) (ng/ml) post presencia de celo en ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados

Tiempo Post-celo (h)	Tratamientos		
	0%	3%	6%
8	1.651 $\pm$ 0.311 <sup>b</sup>	1.810 $\pm$ 0.226 <sup>b</sup>	2.886 $\pm$ 0.213 <sup>a</sup>
11	1.857 $\pm$ 0.192 <sup>b</sup>	1.974 $\pm$ 0.236 <sup>b</sup>	2.229 $\pm$ 0.179 <sup>a</sup>
14	1.333 $\pm$ 0.583 <sup>b</sup>	1.591 $\pm$ 0.149 <sup>b</sup>	2.343 $\pm$ 0.161 <sup>a</sup>
17	1.596 $\pm$ 0.103 <sup>b</sup>	1.600 $\pm$ 0.229 <sup>b</sup>	2.500 $\pm$ 0.213 <sup>a</sup>
20	1.514 $\pm$ 0.131 <sup>b</sup>	1.943 $\pm$ 0.171 <sup>b</sup>	2.918 $\pm$ 0.134 <sup>a</sup>

a, b, c. Literales en la misma fila indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ )

**DE:** Desviación estándar

Las concentraciones de E2 en plasma fueron mayor en los tratamientos suplementados con aceite ( $P < 0,05$ ) en comparación con el grupo testigo, presentándose mayores concentraciones de esta hormona conforme se aproxima la ovulación. Robinson *et al.*, (2002) reporta un incremento en plasma de E2 al suplementar vacas lecheras con ácidos grasos 18:3 y 18:2, en comparación que el grupo testigo, de igual manera Zachut *et al.*, (2008) informa una mayor concentración de E2 en plasma al alimentar vacas con niveles alto y bajo de ácidos grasos poliinsaturados (4.9 y 51 pg/ml) en comparación con el grupo testigo (3.5 pg/ml), las concentraciones de E2 se han relacionado positivamente con la duración del estro (Mondal *et al.*, 2006), el diámetro del folículo preovulatorio y la tasa de preñez en vacas (Lopes *et al.*, 2007). Los niveles plasmáticos de E2 presentes en este estudio podrían atribuirse a un aumento de la esteroidogénesis ovárica o en su caso al descenso del metabolismo de los esteroides en el hígado Zachut (2011). En este sentido, Piccinato *et al.*, (2010) informa que la adición de C18: 3 n-3 a cortes de hígado de bovino aumenta la vida media de P4 y E2 en aproximadamente un 60%, en comparación con otros ácidos grasos (C16:0, C16:1 y C18:1).

**Tabla 4.** Concentraciones séricas de estradiol ( $\pm$  DE) (pg/dl) antes, durante y después de la presencia de celo en ovejas de pelo suplementadas con tres niveles de ácidos grasos poliinsaturados.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	0%	3%	6%
-2	8.54 $\pm$ 0.818 <sup>b</sup>	10.77 $\pm$ 0.677 <sup>a</sup>	10.27 $\pm$ 0.844 <sup>a</sup>
0	12.41 $\pm$ 1.364 <sup>b</sup>	15.53 $\pm$ 0.917 <sup>a</sup>	14.64 $\pm$ 0.484 <sup>a</sup>
2	10.71 $\pm$ 1.482 <sup>b</sup>	12.81 $\pm$ 0.627 <sup>a</sup>	12.09 $\pm$ 0.626 <sup>a</sup>

a, b, c. Literales en la misma fila indican diferencia significativa (P<0.05)

**DE:** Desviación estándar

## **7. CONCLUSION**

La inclusión del 3 y 6 % de aceite de maíz en la dieta de ovejas de pelo modifica los niveles de progesterona, colesterol, estradiol e insulina en ovejas de pelo, influenciado positivamente la fase folicular y lútea del ciclo estral.

## 8. LITERATURA CITADA

Adamiak SJ, Mackie K, Watt RG, Webb R, Sinclair KD. 2005. Impact of nutrition on oocyte quality: cumulative effects of body composition and diet leading to hyperinsulinemia in cattle. *Biol. Reprod.* 73, 918–926.

AFCR. 1993. Technical Committee on Response to Nutrients. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Wallingford, UK

Aranda AI, Ake LJR, Delgado LR and Herrera CJ. 2002. Resumption of ovarian activity postpartum, serum concentration of lipid metabolites and progesterone in cows supplemented with corn oil in the diet under tropical conditions. *Proc. Conf. Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products.* British Society for Animal Science. Universidad Autonoma de Yucatan. Merida, Yucatan, Mexico, 202-203.

Arroyo J. 2011. Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14, 829-845.

Arroyo LJ, Gallegos-Sánchez, J, Villa-Godoy A, Berruecos JM, Perera G, and Valencia J. 2007. Reproductive activity of Pelibuey and Suffolk ewes at 19 degrees north latitude. *Anim. Reprod. Sci.* 102, 24-30.

Arteaga CJ. 2008, Situación Actual de la Ovinocultura en México. AMCO. II Foro de Rentabilidad Ovina. 205-208.

Baldassarre H, Castro TE, Furnus CC and de Matos DG. 1994. In vitro maturation and fertilization of sheep, oocytes collected by laparoscopic folliculocentesis. *Theriogenology*, 41:159.

Borowczyk E, Caton JS, Redmer DA, Bilski JJ, Weigl RM, Vonnahme KA, Borowicz PP, Kirsch JD, Kraft KC, Reynolds LP. 2006 Effects of plane of nutrition on in vitro fertilization and early embryonic development in sheep. *Theriogenology*. 84, 1593–1599

Carrera BB. 2008. La ovino cultura en México: alternativa para los productores rurales. Cuaderno de Trabajo. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 302-320.

Childs GV. 2006. Gonadotropes and lactotropes. In: *The physiology of reproduction, Volume 1*. J.D., Neill (Ed.). Raven Press, Ltd., New York. 1483-1580.

Childs S, Hennessy AA, Sreenan JM, Wathes C, Cheng Z, Stanton C, Diskin MG and Kenny DA. 2008. Effect of level of dietary *n*-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on systemic and tissue fatty acid concentrations and on selected reproductive variables in cattle. *Theriogenology*. 70, 595-611.

Clarke IJ, Pompolo S. 2005. Synthesis and secretion of GnRH. Anim. Reprod. Sci. 88, 29-55.

Coyral-Castel S, Ramé C, Fatet A and Dupont J. 2010. Effects of unsaturated fatty acids on progesterone secretion and selected protein kinases in goat granulose cells. Domestic Animals, Endocrinology. 38, 272-283.

Cuéllar OJA. 2003. Perspectivas de la ovinocultura en México. Mem Segundo Seminario sobre Producción Intensiva de Ovinos. Villahermosa, Tabasco. 123.

Espey LL. 1994. Current status of the hypothesis that mammalian ovulation is comparable to an inflammatory reaction. Biol. of Rep. 50, 233-238.

Espinoza JL; Palacios A; Ortega R, Guillén A. 2008. Effect of fat supplementation on serum concentrations of progesterone, insulin, growth hormone and some lipid metabolites in Pelibuey ewes. Archivos de Medicina Veterinaria. 40:135-140.

Foot WC, Sefidbakht N, Madsen MA. 2001. Puberal oestrus and ovulation and subsequent oestrus cycle patterns in the ewe. J. Animal Science. 30:86.

Funston RN. 2004. Fat supplementation and reproduction in beef females. J Anim Sci. 82, 154-161.

García V. 2008. Foros de ovinos. Tasas normales de mortandad en ovinos (en línea)[http://www.engormix.com/tasas\\_normales\\_mortandad\\_ovinos\\_forumview13302](http://www.engormix.com/tasas_normales_mortandad_ovinos_forumview13302).

Garnsworthy PC. 2002. Fats in dairy cow diets. In: Recent Developments in Ruminant Nutrition. Edited by Garnsworthy, P.C and Wiseman, J. Nottingham University Press. 399-415.

Ghoreishi SM, Zamiri MJ, Rowghani E and Hejazi H. 2007. Effect of a calcium soap of fatty acids on reproductive characteristics and lactation performance of fat-tailed sheep, Pakistan. Journal of Biological Sciences, 10 (14), 2389-2395.

Gonzales -Bulnes, A., Santiago Moreno, J., Gomez Brunet, A., Lopez Sebastián, A. 2000. Relationship between ultrasonographic assessment of the corpus luteum and plasma progesterone concentration during the oestrous cycle in monovular ewes. Reprod. Dom. Anim. 35, 65-68.

Goodman RL, Inskeep EK. 2006. Neuroendocrine control of the ovarian cycle of the sheep. In: Physiology of Reproduction, 3rd ed. Knobil, E., Neill, J.D. (Eds). Raven Press, New York. 2389-2447.

Goodman RL, Gibson M, Skinner DC, Lehman. 2002. Neuroendocrine control of pulsatile GnRH secretion during ovarian cycle: evidence from the ewe. *Reproduction*. 59, 41-56.

Grant MH, Hess JB, Hixon DL, Van Kirk EA, Alexander BM, Nett TM, Moss GE. 2003. Effect of feeding high-linoleate safflower seeds on reproductive endocrine dynamics in postpartum beef females. *Proceedings, Western Section, Am. Soc. Anim. Sci.* 54, 36-39.

Gray CA, Taylor KM, Ramsey WS, Hill JR, Bazer FW, Bartol FF and Spencer TE. 2001. Endometrial glands are required for preimplantation conceptus elongation and survival. *Biology of Reproduction*. 64, 1608-1613.

Harris MA, Hansen RA, Koslo JL, Thomas JB, Watkins BA and Allen KGD. 2001. Effects of conjugated linoleic acids and docosahexaenoic acid on rat liver and reproductive tissue fatty acids, prostaglandins and matrix metalloproteinase production. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 65, 23-29.

Herrera CJ, Quintal FJ, Ku VJ and Williams GL. 2003. Effect of polyunsaturated fatty acids on follicular dynamics, pregnancy rate and ovarian response of Pelibuey sheep *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2, 101-104.

Hess BW. 2003. Supplementing fat to the cow herd. Pages 156–165 in Proc. Range Beef Cow Symp. XVIII, Mitchell, NE

Hess BW, Moss GE and Rule DC. 2008. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science*, 86, 188-204.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2011. Carta hidrológica y climática del estado de Oaxaca. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx).

Jenkins TC, Adams CS. 2002. The biohydrogenation of linoleamide in vitro and its effects on linoleic acid concentration in duodenal contents of sheep. *Journal of Animal Science*. 80, 533-540.

Juengel JL, Niswender GD. 1999. Molecular regulation of luteal progesterone synthesis in domestic ruminants. *J. Reprod. Fertil.* 54, 193-205.

Knight PG, Glister C. 2001. Potential local regulatory functions of inhibins, activins and follistatin in the ovary-Review. *Reproduction*. 121, 503-512.

Lemley CO, Butler ST, Butler WR and Wilson ME. 2008. Short communication: Insulin alters hepatic progesterone catabolic enzymes cytochrome P450 2C and 3A in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91, 641-645.

- Lemley CO, Butler ST, Butler WR and Wilson ME. 2008. Short communication: Insulin alters hepatic progesterone catabolic enzymes cytochrome P450 2C and 3A in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91, 641-645
- Lopes AS, Butler ST, Gilbert RO and Butler WR. 2007. Relationship of preovulatory follicle size, estradiol concentrations and season to pregnancy outcome in dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 99, 34-43.
- Lopes N, Scarpa AB, Cappellozza BI, Cooke RF and Vasconcelos JLM. 2009. Effects of rumen-protected polyunsaturated fatty acid supplementation on reproductive performance of *Bos indicus* beef cows. *Journal of Animal Science*, 87, 3935-3943.
- López-Sebastián A, González de Bulnes A, Santiago Moreno J, Gómez Brunet, A, Townsend EC, Inskeep EK. 1997. Patterns of follicular development during the estrous cycle in monovular Merino del Pais ewes. *Anim.Reprod. Sci.* 48, 279-291.
- Malpoux B, Tricoire H, Mailliet F, Daveau A, Migaud M, Skinner DC, Pelletier J, Chemineau P. 2002. Melatonin and seasonal reproduction: understanding the neuroendocrine mechanisms using the sheep as a model. *Reproduction*. 59, 167-179.

- Marin AM, Tinoco J, Herrera J, Sanchez L, Sanchez V, Solorio J and Garcia A. 2007. Resumption of ovarian activity and lipid metabolites in lactating cows supplemented with vegetal oil during early postpartum. *Interciencia*, 2, 180-184.
- Mattos, R, Staples RCh and Thatcher WW. 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Reviews of Reproduction*. 5, 38-45.
- Millar RP. 2005. GnRHs and GnRH receptors. *Anim. Reprod. Sci.* 88, 5-28.
- Mondal M, Rajkhowa C and Prakash BS. 2006. Relationship of plasma estradiol-17beta, total estrogen, and progesterone to estrus behavior in mithun (*Bos frontalis*) cows. *Hormones and Behavior*. 49, 626-633.
- Moriel P., Scatena TS, Filho OG, Cooke RF and Vasconcelos JLM. 2008. Concentrations of Progesterone and Insulin in Serum of Nonlactating Dairy Cows in Response to Carbohydrate Source and Processing. *Journal of Dairy Science*. 91, 4616-4621.
- Navarro L, Torres A. 1985. Duración, frecuencia e incidencia natural del estro en ovejas West African en la mesa de Guanipa. *Zoot. Trop.* 2, 39-49.
- Orskuv ER, Allen DM. 1966. Utilization of salts of volatile fatty acids by growing sheep. 3. Effect of frequency of feeding on the utilization of acetate and

propionate by young growing lambs. *British Journal of Nutrition*. 20, 519-527.

Padmanabhan V, Karsh FJ, Lee JS. 2002. Hypothalamic, pituitary and gonadal regulation of FSH. *Reproduction*. 59, 67-82.

Piccinato CA, Sartori R, Sangsritavong S, Souza AH, Grummer RR, Luchini D. and Wiltbank MC. 2010. *In vitro* and *in vivo* analysis of fatty acid effects on metabolism of 17 $\beta$ -estradiol and progesterone in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 1934-1943.

Porras AA, Zarco QLA, Valencia MJ. 2003. Estacionalidad reproductiva en ovejas. *Ciencia Veterinaria*. 9, 1-34.

Reyes A. 2006. Foros de ovinos. Gestaciones gemelares en ovinos (en línea). Disponible en [http://www.engormix.com/s\\_forums\\_view.asp?valor=10186](http://www.engormix.com/s_forums_view.asp?valor=10186).

Robertson DM. 1992. Follistatin/activin-binding protein. *Trends Endocrinology. Metabol.* 3, 65-68.

Robinson RS, Pushpakumara PGA, Cheng Z, Peters AR, Abayasekara DRE and Wathes DC. 2002. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reproduction*. 124, 119-131.

Rojas et al. 2000. Prácticas de manejo de ovinos en la Huasteca (en línea).

<http://www.oeidrusslp.gob.mx/modulos/biblioteca/pecuario/Practicas%20de%20Manejo%20de%20Ovinos%20de%20Pelo%20en%20la%20Huasteca%22.pdf>.

Romualdo J, Sierra A, Ortiz J, Hernández J. 2004. Caracterización morfométrica del ovino Pelibuey Local en Yucatán, México. Arch. Lat. De Producción animal 12, 26-31.

Russel AJF, Doney JM, Gunn RG. 1969. Subjective assessment of fat in live sheep Journal of Agricultural Science. 72, 451-454.

Salas RG, Herrera CJ, Gutierrez VEE, Ku VJC and Ake LJR. 2011. Postpartum ovarian activity resumption and plasma concentration of lipid metabolites and progesterone in cows supplemented with bypass fat. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14, 385 – 392

Sangha GK, Sharma RK, Guraya SS. 2002. Biology of corpus luteum in small ruminant. Small Rumin.Res. 43, 53-64

Santos JE, Bilby TR, Thatcher WW, Staples CR and Silvestre FT. 2008. Long chain fatty acids of diet as factors influencing reproduction in cattle. Reprod. Domest. Anim. 4, 23-30.

Scaramuzzi RJ, Campbell BK, Downing JA, Kendall NR, Khalid M, Munoz-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 Development*, 46, 339-354.

Soto L, Delgado, M. 2008. Importancia del registro de datos (en línea). Disponible en <http://www.corderosupremo.com/art02.pd>

Staples CR, Thatcher WW. 2005. Effects of fatty acids on reproduction of dairy cows. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Edited by P.C. Garnsworthy and J. Wiseman. Nottingham University Press. Nottingham. 11-28.

Staples CR, Burke JM and Thatcher WW. 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 81, 856-871.

Thomas MG, Bao B and Williams GL. 1997. Dietary fats varying in their fatty acids composition differentially influence follicular growth in cows fed isoenergetic diets. *Journal of Animal Science*. 75, 2512-2519

Valencia J, Porrás A, Mejía O, Berruecos JM, Trujillo J, Zarco L. 2006. Actividad reproductiva de la oveja Pelibuey durante la época del anestro: influencia de la presencia del macho. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 16, 136-141.

- Vinoles C, Forsberg M, Martin GB, Cajarville C, Repetto J and Meikle A. 2005. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition affects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. *Reproduction*. 129, 299-309.
- Wang CK, Robinson RS, Flint AP and Mann GE. 2007. Quantitative analysis of changes in endometrial gland morphology during the bovine oestrous cycle and their association with progesterone levels. *Reproduction*. 134, 365-371.
- Wathes DC, Abayasekara DR and Aitken RJ. 2007. Polyunsaturate fatty acids in male and female reproduction. *Biol. Reprod.* 77, 190-201
- Webb R, Gosden R.G, Telfer EE, Moor RM. 1999. Factors affecting folliculogenesis in ruminants. *Anim. Sci.* 68, 257-284.
- Webb R, Nicholas B, Gong JG, Campbell BK, Gutierrez CG, Garverick HA, Armstrong DG. 2003. Mechanisms regulating follicular development and selection of the dominant follicle-Review. *Reprod.* 61, 71-90.
- Wehiman ME, Welsh JrTH and Williams GL. 1991. Diet induced hyperlipidemia in cattle modifies the intrafollicular cholesterol environment, modulates

ovarian follicular dynamics, and hastens the onset of postpartum luteal activity. *Biology of Reproduction*. 45, 514-522.

Williams G L and Stanko ER. 2000. Dietary fats as reproductive nutraceuticals beef cattle. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. *Journal of Animal Science*. 77, 1-12.

Williams GL. 1989. Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipid. *Journal of Animal Science*. 67, 785-793.

Wonnacott KE, Kwong YW, Hughes J, Salter AM, Lea RG, Garnsworthy PC, Sinclair KD, Sinclair KD. 2010. Dietary omega-3 and -6 polyunsaturated fatty acids affect the composition and development of sheep granulosa cells, oocytes and embryos. *Reproduction*. 139, 57-69.

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci*. 66, 21-32.

Zachut M, Arieli A and Moallem U. 2011. Incorporation of dietary n-3 fatty acids into ovarian compartments in dairy cows and the effects on hormonal and behavioral patterns around estrus. *Reproduction*. 141, 833-840.

Zachut M, Arieli A, Lehrer H, Argov N and Moallem U. 2008. Dietary unsaturated fatty acids influence preovulatory follicle characteristics in dairy cows. *Reproduction*. 135, 683-692.

Zhangrui C, Abayasekara DRE and Claire DW. 2005. The effect of supplementation with n-6 polyunsaturated fatty acids on 1-, 2- and 3-series prostaglandin F production by ovine uterine epithelial cells. *Biochimica et biophysica acta*. 1736, 128-35.