

**Efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre
el comportamiento reproductivo de borregas de pelo
primíparas en Yucatán**

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

**Médico Veterinario Zootecnista
Alfredo Soto Aguilar**

Asesores:

**Dr. Luis Sarmiento Franco
Dr. Jesús Ricardo Aké López
Dr. Ronald Santos Ricalde**

Mérida, Yuc., México a 20 de Abril del 2016.

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

DEDICATORIA

A ti, María Rojo, por estar cuando más lo necesité, por el cariño, por el amor y por todo el apoyo que me has brindado, te amo y te estaré siempre agradecido.

A mi madre, por ser mi ejemplo a seguir. No tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí, todos los consejos que me has dado, todo el cariño, el amor y el apoyo incondicional. Gracias mamá, sabes que te amo.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, Dr. Luis Sarmiento, Dr. Ricardo Aké y Dr. Ronald Santos, por todo su apoyo durante la realización de la tesis, por compartirme sus conocimientos y por brindarme su amistad.

A Monserrat Cob, Anna Flores, Beto Espina, Jorge Covarrubias, Eddie Soto, Efraín Trejo, Ana García, Omar Arzapalo Cruz, Daniela Arzapalo Cruz, Irina Peniche, Valentina Soto, por la ayuda que me brindaron durante la realización de la tesis.

A mis compañeros y amigos de generación: Úrsula López, Fernando Fleites, Mauricio Cocas, Carolina Cuanalo, Ale Cab, Mariana Santana, Carmen Bastarrachéa, Gerardo Dzib, Joaquín Fernández, Julián Parada, Evelyn Carrillo, Rosana Gonzáles, Irving Vargas, Luis Quijano, Samuel Campos, Jedión Tuz, Andrea Chuc, Ángel Patrón, por su gran amistad y por hacer de esta experiencia única.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca brindada para la realización de los estudios de Maestría.

Al equipo de Reproducción Animal, al equipo de químicas del Laboratorio de Nutrición, y a los trabajadores del Área de Nutrición del CCBA, por su apoyo brindado durante este estudio.

A mis tutores, Dr. Juan Magaña y Dr. Arturo Castellanos, por la orientación y los consejos brindados, les agradezco todas sus observaciones y su experiencia puesta en este documento.

A mi familia, por estar siempre presentes y por su apoyo incondicional.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz (4% del consumo MS) rico en ácidos grasos poliinsaturados, sobre el porcentaje de gestación, porcentaje de parición y la prolificidad de borregas de pelo primíparas, y sincronizadas con CIDR (Controlled Internal Drugs Releasing). Se utilizaron 42 borregas primíparas de pelo, con una condición corporal de 3 a 4, con una edad de entre 8 a 9 meses, y un peso vivo de 32.24 ± 4.28 kg. Las borregas fueron distribuidas al azar en dos grupos; grupo testigo y grupo con suplementación de aceite. Ambos grupos recibieron alimento concentrado durante 21 días, el cual se empezó a proporcionar 7 días previos a la sincronización y culminó 14 días después de haber colocado el CIDR. Los resultados del porcentaje de gestación y parición fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, la prolificidad fue mayor en el grupo de borregas suplementadas con aceite de maíz (1.61 crías) en comparación al grupo testigo (1.13 crías; $P < 0.05$). La suplementación con ácidos grasos poliinsaturados (4% de aceite de maíz) en la dieta influyó positivamente en la prolificidad de borregas primíparas por lo cual puede ser una alternativa viable en la época de empadre para mejorar los índices reproductivos.

Palabras clave: aceite de maíz, borregas primíparas, tasa de parición, prolificidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of supplementation with corn oil (4% of consumption DM) rich in polyunsaturated fatty acids on pregnancy rate, farrowing rate and prolificacy of primiparous ewes, synchronized with CIDR (Controlled Drugs Internal Releasing). Forty two hair ewes aged 8-9 months, weighed 32.24 ± 4.28 kg and scored body condition between 3 and 4 were used. The ewes were randomly assigned to a control diet and diet supplemented with corn oil. Both groups were fed from 7 days before synchronization and 14 days after CIDR (Controlled Internal Drugs Releasing) implantation. The results of pregnancy rate and lambing rate were similar among treatments ($P>0.05$). However, prolificacy was higher in the group supplemented with corn oil (1.61 offspring) ($P<0.05$) compared to the control group (1.13 offspring). Supplementation with corn oil positively influenced the prolificacy of primiparous sheep, so the corn oil supplementation may be a viable alternative during the breeding season to improve reproductive rates.

Keywords: corn oil, primiparous sheep, lambing rate, prolificacy.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Características reproductivas de la borrega.....	4
2.2. Características anatómicas del útero de la borrega	4
2.3. El Ciclo estral de las borregas.....	5
2.3.1. Proestro	5
2.3.2. Estro o celo	6
2.3.3. Metaestro	7
2.3.4. Diestro.....	7
2.4. Fermentación y absorción de los ácidos grasos en rumiantes	8
2.4.1. Lipólisis	8
2.4.2. Biohidrogenación	9
2.4.3. Síntesis de ácidos grasos microbiales	10
2.4.4. La digestibilidad con el uso de lípidos en la dieta	10
2.4.5. Patrón de fermentación ruminal con el uso de ácidos grasos poliinsaturados	13
2.4.6. Absorción y transporte de los ácidos grasos.....	13
2.5. Suplementación con ácidos grasos poliinsaturados y su efecto en la reproducción de rumiantes	14

2.5.1. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de prostaglandinas.....	15
2.5.2. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de Progesterona	¡Error! Marcador no definido.
2.5.3. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de estradiol	17
2.5.4. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados sobre los folículos ováricos	17
III. HIPÓTESIS	19
IV. OBJETIVO GENERAL.....	20
3.1. Objetivos específicos	20
V. REFERENCIAS	21
VI. ARTÍCULO CIENTÍFICO	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de los ingredientes de la dieta.....	31
Tabla 2. Porcentaje de inclusión de los ingredientes de la dieta.....	31
Tabla 3. Consumo de borregas suplementadas con aceite de maíz.....	33
Tabla 4. Variables reproductivas en borregas primíparas (n= 42) suplementadas con aceite de maíz.....	33

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que afecta la reproducción animal es la nutrición. La interacción de la nutrición con la reproducción es un elemento crítico para lograr una adecuada eficiencia productiva (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Las necesidades energéticas de las hembras para la reproducción son considerables. En ovinos, la respuesta folicular es sensible al factor nutricional, y la tasa de ovulación puede ser aumentada por la manipulación nutricional, siendo una herramienta para el control de la tasa de ovulación y la prolificidad (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Es por ello que se han estado investigando diversos métodos para mejorar la eficiencia reproductiva en borregas, enfocados al aspecto nutricional. Uno de estos métodos es el uso de suplementos durante periodos cortos de alimentación previos a la época de empadre o a la inseminación artificial de las borregas. Entre éstos métodos se han utilizado diversas fuentes de suplementación, como son el uso de concentrados, el uso de leguminosas tropicales, así como de aceites vegetales, entre otros, que representan una fuente extra de energía y proteína durante éste periodo (Naqvi *et al.*, 2011; Naqvi *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos hasta el momento son contradictorios, ya que algunos autores reportan que la suplementación de las borregas no parece mejorar los parámetros reproductivos, como son la tasa de ovulación y el inicio y la duración del estro (Godfrey *et al.*, 2003; Naqvi *et al.*, 2011), sugiriendo que las pequeñas mejorías se pueden deber a la época del año y no a la suplementación (Godfrey *et al.*, 2003). Esto es respaldado en parte por Sormunen y Jauhiainen (2002), quienes mencionan que la suplementación no tiene efecto sobre borregas mayores y tampoco estimula el inicio del estro en el verano.

Sin embargo, también se han encontrado respuestas favorables en los parámetros reproductivos la suplementación, como lo reportan Naqvi *et al* (2013), quienes observaron que las borregas suplementadas con alimento balanceado (1.5% del peso vivo) durante la temporada de verano incrementó significativamente el crecimiento y el rendimiento reproductivo de las borregas, así como el peso corporal y la respuesta ovulatoria. Con este mismo método pero en otoño, se observó que la tasa de parición aumentó a 91.6% en las borregas suplementadas con alimento balanceado en comparación con 72.7% en el grupo testigo (Naqvi *et al.*, 2011). También se han reportado mejoras en la prolificidad y el número de corderos destetados, reportando beneficios para el inicio del estro en borregas de un año suplementadas durante la temporada de cría en el otoño (Sormunen y Jauhiainen, 2002).

Uno de los métodos de suplementación más prometedores es el uso de aceites vegetales. Esto ha sido demostrado por el incremento en la tasa ovulatoria con el uso de aceite de soya (Herrera *et al.*, 2010), la tasa de fecundidad y la tasa de prolificidad que también puede ser mejorada con el uso de aceite de maíz (Herrera *et al.*, 2003). Estos resultados pueden deberse a que la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados afecta positivamente la función reproductiva en varios tejidos importantes, incluyendo el hipotálamo, hipófisis, ovario y útero. La respuesta reproductiva parece ser dependiente del tipo de ácido graso (Funston, 2004). La suplementación con ácidos grasos puede mejorar los niveles séricos de colesterol precursor de la progesterona, así como también pueden mejorar los niveles séricos de insulina, somatotropina, leptina y ácidos grasos no esterificados, relacionándose con una mejor respuesta endocrina del eje hipotálamo-hipófisis-gónada o del desarrollo folicular ovárico. La suplementación con ácidos grasos poliinsaturados también pueden modificar los niveles de glucosa estimulando la secreción de LH desde la pituitaria anterior (Scaramuzzi *et al.* 2006; Wonnacott *et al.* 2010; Herrera *et al.* 2012; Méndez, 2012).

Los trabajos realizados sobre suplementación con aceites están enfocados en su mayoría a borregas múltiparas, con resultados contradictorios. En el mismo sentido, los

trabajos realizados con borregas primíparas son escasos y no han arrojado resultados contundentes.

Es por eso que el objetivo de la tesis fue evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre los valores de algunos indicadores del desempeño reproductivo en borregas de pelo primíparas en condiciones tropicales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características reproductivas de la borrega

Las características reproductivas de las borregas dependen de diversos factores, entre los que se encuentran la raza, edad, nutrición y época del año (Galina *et al.*, 1996). En borregas de pelo en el sureste de México se reportan porcentajes de hembras paridas del 70% con 8% de abortos, con una prolificidad promedio de 1.27 corderos y un intervalo entre partos de 268 d (González *et al.*, 2010).

Las borregas son animales poliéstrico estacionales, que presentan ciclos estrales de 16 a 17 días, que se pueden dividir en 2 a 3 días de fase folicular y una fase lútea de 13 a 14 días, fases que se encuentran divididas por la ovulación. Las borregas tienen un periodo de receptividad sexual (estro) de 24 a 36 horas, con un ciclo estral constante, con diferencias no mayores a 1 día dependiendo de la edad y la raza (Nuñez, 1993; Bartlewski *et al.*, 2011; Goodman y Inskeep, 2015).

2.2. Características anatómicas del útero de la borrega

La borrega tiene un útero de tipo bicornual, constituido por dos cuernos bien definidos, el cérvix y un cuerpo uterino pequeño, anterior al canal cervical. El útero está conformado histológicamente por tres túnicas: 1) la serosa o adventicia, es la capa externa del útero y está formada de tejido conjuntivo y mesotelio; 2) el miometrio, es la capa media del útero y está conformada por una túnica de músculo liso; 3) el endometrio, es la capa interna del útero formada por una mucosa. La mucosa muestra áreas que sobresalen a la luz llamadas carúnculares, y áreas que no lo hacen, llamadas intercarúnculares (Vasconcellos *et al.*, 2008).

2.3. El Ciclo estral de las borregas

El ciclo estral de las borregas es el resultado de una interacción coordinada del hipotálamo, hipófisis, ovario, y útero. La comunicación entre estos tejidos se da a través de las hormonas: GnRH del hipotálamo; la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) de la glándula pituitaria; estradiol, inhibina, y la progesterona por el ovario; y PGF2 α desde el útero y cuerpo lúteo (Goodman y Inskeep, 2015). Esta interacción tiene como objetivo la formación de gametos funcionales, así como de establecer las condiciones necesarias para la fecundación y desarrollo de la gestación.

El ciclo estral en las borregas se puede dividir en 4 fases, que se repiten de forma cíclica durante toda la vida reproductiva de la borrega. Cada etapa está caracterizada por distintos eventos neuroendócrinos y conductuales que dependen de las hormonas circulantes en la borrega y de la respuesta de los órganos ante dichas hormonas.

2.3.1. Proestro

Ésta fase inicia durante el periodo de regresión del cuerpo lúteo y termina con la receptividad sexual. Durante ésta etapa la actividad secretora de progesterona del cuerpo lúteo va declinando durante los días 14-15 del ciclo reproductivo en la borrega debido a la pérdida de función y la subsecuente involución de la estructura lútea (Weems *et al.*, 2006; Jerome y Srivastava, 2012). El principal factor para la involución lútea es el incremento de la secreciones de la PGF2 α que inhibe la captación de lipoproteínas, lo que limita el transporte de colesterol intracelular en las células lúteas y por lo cual se disminuye la síntesis de progesterona (Weems *et al.*, 2006).

La PGF2 α es secretada por las glándulas endometriales del útero y para que la PGF2 α sea sintetizada el útero debe contar con las reservas suficientes de ácido araquidónico. La mayoría del ácido araquidónico en el útero se encuentra esterificado dentro de fosfolípidos (Silvia *et al.*, 1991; Bartlewski *et al.*, 2011).

En ésta etapa también ocurre el desarrollo folicular. El hipotálamo aumenta la frecuencia de GnRH que incrementa las concentraciones de LH tónico lo que mantiene el crecimiento folicular y estimula la secreción de 17β -estradiol desde el ovario (Goodman y Inskeep, 2015). El incremento del 17β -estradiol provoca el aumento de las secreciones de $PGF2\alpha$ uterina en los rumiantes. El estradiol también promueve, junto con el descenso de la progesterona, la formación de receptores endometriales de oxitocina y mantiene la secreción pulsátil de la $PGF2\alpha$ (Bartlewski *et al.*, 2011; Jerome y Srivastava, 2012). La secreción de oxitocina, inducida por el estradiol, se ve involucrada en una retroalimentación positiva, en la cual, la secreción pulsátil de $PGF2\alpha$ uterina estimula la secreción de oxitocina y el incremento de oxitocina incrementa la secreción pulsátil de $PGF2\alpha$ (Silvia *et al.*, 1991; Weems *et al.*, 2006; Bartlewski *et al.*, 2011).

2.3.2. Estro o celo

La receptividad, que es el índice más común usado para monitorear el comportamiento estral, consiste simplemente en que la borrega permanece de pie durante la cópula. La conducta estral tiene una duración promedio de 24 a 36 h en la borrega, pero su duración se reduce por el contacto continuo con los machos (Goodman y Inskeep, 2015).

El descenso de la progesterona durante la luteólisis permite que el estradiol estimule el comportamiento estral observable (Bartlewski *et al.*, 2011). Durante el estro también se presenta un mayor desarrollo folicular. La característica física observable del estro es la presencia de descargas de moco en la vulva que cambia de consistencia a lo largo del estro, siendo al inicio de este claro; a las 12 y 18 horas después se vuelve opaco y copioso, siendo a las 25 y 35 horas cremoso y espeso (Evans y Maxwell, 1990).

Durante ésta fase se presenta una secreción cíclica de GnRH desde el hipotálamo que estimula la secreción de un pico de LH por parte de la hipófisis anterior, que inicia la formación de una nueva estructura en el ovario e interviene en la selección de los folículos ovulatorios. El pico de LH coincide con un brusco incremento de la FSH a unas

horas del inicio del celo (4 h), seguido de un segundo incremento de FSH 24 h después, que coincide con el momento de la ovulación (López *et al.*, 1993; Weems *et al.*, 2006; Goodman y Inskeep, 2015).

2.3.3. Metaestro

El metaestro es un periodo del ciclo relativamente corto subsecuente a la ovulación. En éste periodo la frecuencia de pulsos de LH producen cambios funcionales y fenotípicos en las células de la granulosa y de la teca de los folículos que inducen la ovulación y formación del cuerpo lúteo (CL). La LH es obligatoria para el crecimiento del CL inicial y la diferenciación celular (López *et al.*, 1993; Bartlewski *et al.*, 2011).

El cuerpo lúteo inicia su desarrollo a partir de los restos de la pared del folículo. Una de las principales señales de la formación del cuerpo lúteo es el cambio del producto esteroide principal del folículo maduro (estrógenos) a la del cuerpo lúteo en desarrollo y maduro (progesterona) (Stouffer y Hennebold, 2015). La función principal de las células lúteas es la de sintetizar progesterona, ya que la progesterona ayuda a preparar el útero para la implantación del embrión y también es la responsable de mantener la gestación, proporcionando alimento para el embrión (Thatcher y Staples, 2000).

2.3.4. Diestro

El diestro constituye la mayor parte del ciclo reproductivo, donde la hembra permanece renuente al macho. Ésta etapa comprende la fase luteal y el inicio de la fase folicular. Durante el diestro, la progesterona ejerce una influencia dominante sobre el útero, el cuerpo lúteo está en plena funcionalidad. Los niveles circulantes de progesterona comienzan a aumentar estabilizándose hasta el día 12, y posteriormente descienden rápidamente hasta alcanzar su punto más bajo antes del siguiente estro y ovulación (Bartlewski *et al.*, 2011).

Las células específicas del cuerpo lúteo convierten fácilmente los análogos de colesterol en progesterona. Para producir grandes cantidades de progesterona se

requiere de un incremento en la disponibilidad del precursor de esteroides, colesterol. El colesterol puede sintetizarse *de novo* por las células lúteas, o utilizando fuentes de ésteres de colesterol transmitidos por la sangre, ya sea en forma de lipoproteínas de alta o baja densidad (HDL o LDL) (Stouffer y Hennebold, 2015).

La progesterona también inhibe la secreción de PGF₂α uterina durante los primeros días del ciclo (días 3-5), y también se inhiben las secreciones episódicas de PGF₂α del útero 7 a 8 días después y la función uterina, así se asegura una longitud normal de la fase lútea en ese ciclo. La progesterona también inhibe la secreción de LH tónica disminuyendo la frecuencia de pulsos de GnRH, por lo cual disminuyen las concentraciones de LH a un punto bajo en la mitad del ciclo, permaneciendo así hasta la luteólisis. Esta disminución de la LH es necesaria para el inicio de las ondas foliculares, y para el aumento de la PGF₂α entre los días 11 y 13 para provocar la luteólisis, y en consecuencia las concentraciones de progesterona caen rápidamente (Goodman y Inskeep, 2015).

2.4. Fermentación y absorción de los ácidos grasos en rumiantes

Los ácidos grasos insaturados ingeridos por los rumiantes son transformados dentro del rumen mediante dos procesos, la lipólisis y por biohidrogenación (Dean, 2008).

2.4.1. Lipólisis

La lipólisis ocurre primero y es un proceso en el cual los lípidos esterificados son hidrolizados por las lipasas microbianas, lo que resulta en la liberación de los ácidos grasos del glicerol, para permitir la biohidrogenación (Buccioni *et al.*, 2012). El glicerol se fermenta rápidamente, produciendo ácido propiónico como principal producto final. La hidrólisis de estos lípidos esterificados se atribuye a una variedad de galactosidasas y fosfolipasas producidas por los microorganismos del rumen (Jenkins, 1993). La magnitud y la velocidad de la hidrólisis dependen del sustrato y del grado de insaturación (Palmquist, 1996; Dean, 2008). Esta hidrólisis se lleva a cabo por las

bacterias ruminales como *Butyrivibrio fibrisolvens* y *Anaerovibrio lipolytica* (Buccioni *et al.*, 2012).

2.4.2. Biohidrogenación

Una vez que ha ocurrido la lipólisis los ácidos grasos libres son biohidrogenados. La biohidrogenación es la reducción del número de dobles enlaces de la cadena de carbono de los ácidos grasos. Es por ello que los ácidos grasos insaturados permanecen poco tiempo en el contenido ruminal debido a la biohidrogenación por parte de los microorganismos del rumen. Así, sólo pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados de la dieta alcanzan el duodeno. Esto se puede deber a una falla en la lipólisis, y puede ser lo que determina la tasa de hidrogenación en el rumen (Buccioni *et al.*, 2012). La biohidrogenación inicia con una isomerización de los ácidos grasos insaturados cis-12 a un isómero trans-11 catalizado por una isomerasa octadecenoato. Ésta isomerización no se podría dar si no se llevara a cabo la lipólisis previa, ya que el ácido graso debe tener un grupo carboxilo (COOH) libre para la acción de la enzima. La isomerización inicial es seguida por la saturación de los dobles enlaces de los ácidos grasos mono y poliinsaturados, transformándolos en ácidos grasos saturados por acción de una reductasa (Bessa *et al.*, 2000).

La biohidrogenación depende en gran medida de las condiciones en el rumen, ya que a medida que aumentan las concentraciones de ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico, pueden inhibir la biohidrogenación completa hasta ácido esteárico (Jenkins, 1993). Se cree que las bacterias ruminales biohidrogenan los ácidos grasos insaturados no esterificados para minimizar el efecto tóxico de estas sobre los microorganismos ruminales, como son las bacterias celulolíticas, las bacterias metanogénicas y los protozoarios (Palmquist, 1996; Dean, 2008; Buccioni *et al.*, 2012).

Aproximadamente el 90% de los ácidos grasos insaturados no protegidos son biohidrogenados en el rumen hasta ácidos grasos saturados, esto significa que los

ácidos grasos que se absorben en el intestino delgado son diferentes sustancialmente a aquellos consumidos con la dieta (Dean, 2008).

El proceso de biohidrogenación se puede reducir cuando las dietas están basadas en granos y alimentos balanceados. Éste efecto se cree se debe a la disminución de la lipólisis, que resulta de una disminución del pH ruminal (Jenkins, 1993).

2.4.3. Síntesis de ácidos grasos microbiales

Las pérdidas de ácidos grasos en el rumen son mínimas, ya sea por absorción a través del epitelio ruminal o por catabolismo hacia ácidos grasos volátiles o CO₂. Además de los lípidos de la dieta, están también los lípidos bacterianos, que se originan a partir de fuentes exógenas (síntesis de *novo*) ya que los microorganismos del rumen tienen la capacidad de sintetizar ácidos grasos a partir de los carbohidratos, por lo cual, los lípidos que llegan al intestino delgado para ser absorbidos consisten en ácidos grasos de origen dietético y microbial (Dean, 2008).

Los ácidos grasos sintetizados de *novo* consisten principalmente en ácidos grasos saturados C18:0 y C16:0 en una proporción 2: 1. Los ácidos grasos monoinsaturados representan del 15 al 20% de los ácidos grasos bacterianos y son sintetizados por la vía anaeróbica. Los ácidos grasos poliinsaturados no son comúnmente sintetizadas por bacterias, a excepción de las cianobacterias (Jenkins, 1993).

2.4.4. La digestibilidad con el uso de lípidos en la dieta

El uso de lípidos en la dieta podría producir alteraciones en los procesos fermentativos del rumen, cuando se usan en grandes cantidades, ya que estos son liberados al medio ruminal y tienen una interacción con los microorganismos del rumen, lo que podría afectar negativamente la degradación de la fibra (Abubakr *et al.*, 2013). Se han propuesto cuatro mecanismos que intervienen con la fermentación ruminal: el recubrimiento físico de la fibra, escases debido a la formación de jabones insolubles,

inhibición de la actividad microbiana y modificación de la población microbiana (Abubakr *et al.*, 2013).

Uno de los mecanismos más aceptados es el recubrimiento, en el cual los lípidos se adhieren a las partículas del alimento, lo que disminuye el área de exposición del alimento al ataque enzimático microbial. Las bacterias Gram-positivas, como las celulolíticas, que fermentan las fracciones fibrosas de la dieta, son las más afectadas por los lípidos en la dieta, ya que causan inhibición de la actividad microbiana y en consecuencia una reducción en la degradación de la fibra de la dieta (Dean, 2008). En cuanto a los efectos antimicrobianos de los lípidos en el rumen se basa en que estos ácidos grasos de cadena larga se adhieren fácilmente a las bicapas de lípidos en las membranas biológicas debido a su naturaleza hidrófoba (Jenkins, 1993).

Otro efecto de la suplementación con lípidos, especialmente lípidos altos en ácidos grasos poliinsaturados en la dieta, es la disminución de la población de protozoarios, que contribuyen a la degradación de la celulosa (Doreau y Chilliard, 1997). Los ácidos grasos insaturados C₁₈ son tóxicos para los protozoarios ciliados del rumen. La toxicidad de altas concentraciones de lípidos en la dieta para los protozoarios ruminales se debe a una capacidad limitada para absorber y transformar los lípidos, lo que resulta en la hinchazón y la consiguiente ruptura de las células de los protozoarios (Abubakr *et al.*, 2013). Éste efecto podría ser benéfico para los animales si se usan cantidades moderadas de lípidos (menos del 6% de la MS), ya que la disminución de la población de los protozoarios en el rumen podría promover un aumento de la digestión de la fibra debido al aumento de bacterias, especialmente celulolíticas (Abubakr *et al.*, 2013).

La presencia de grandes cantidades de lípidos en la dieta (10% MS) de rumiantes pueden inhibir la fermentación, lo que reduce la digestibilidad del alimento, particularmente la digestibilidad de la fibra. Ésta reducción puede ser de hasta un 50%. Sin embargo, los carbohidratos no estructurales, como los almidones, no ve afectada su digestibilidad (Jenkins, 1993; Doreau y Chilliard, 1997; Dean, 2008).

Sin embargo, los rumiantes están bien adaptados a absorber pequeñas cantidades de lípidos (menos del 3% MS), incluso, se recomienda un uso máximo de lípidos hasta del 6 % de la MS, con lo cual se podrían tener los efectos benéficos de su uso en la dieta sin que se vea afectada la fermentación ruminal (Palmquist, 1996; Dean, 2008; Abubakr *et al.*, 2013).

El metabolismo de las proteínas en el rumen también es alterado cuando los suplementos lipídicos interfieren con la fermentación. La inclusión de lípidos en la dieta podría reducir la digestión proteica en el rumen, lo cual afectaría la concentración de amoniaco ruminal e incrementaría el flujo de nitrógeno hacia el duodeno de los animales. Esto podría incrementar la cantidad de proteína sobrepasante, lo que haría más eficiente el uso de la proteína dietética (Jenkins, 1993; Dean, 2008). Ésta eficacia se ha atribuido a la reducción de protozoarios en el rumen y al menor reciclaje de N bacteriano o al aumento de la tasa de dilución de sólidos en el rumen debido a la grasa añadida (Jenkins, 1993).

Los efectos de los ácidos grasos poliinsaturados sobre la fauna ruminal varían dependiendo del tipo y del nivel de ácido graso utilizado. Esto fue publicado por Zhang *et al.*, (2008), quienes utilizaron cuatro tipos de ácidos grasos C₁₈, esteárico, oleico, linoleico y linolénico, en tres niveles diferentes (0, 35 y 70 g/kg MS sustrato), y reportaron que el número de protozoarios con relación al total de bacterias se redujo notablemente con el aumento de los niveles y grado de insaturación de los ácidos grasos C₁₈. Los protozoarios se redujeron con la adición de los tres ácidos grasos insaturados C₁₈, particularmente con linolénico (C18:3) y linoleico (C18:2). Éste efecto también se observó en la concentración total de N amoniacal, ya que se mejoró mediante el aumento de los niveles de ácidos grasos C₁₈ (Zhang *et al.*, 2008).

2.4.5. Patrón de fermentación ruminal con el uso de ácidos grasos poliinsaturados

La inclusión de ácidos grasos poliinsaturados C₁₈ puede aumentar las proporciones de propionato a medida que se aumenta el nivel y grado de insaturación de los ácidos grasos. Por lo cual, la relación acetato: propionato se puede reducir por el tipo y el nivel de ácido graso poliinsaturado. La proporción molar de butirato se reduce notablemente a medida que aumenta la saturación y la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (Zhang *et al.*, 2008).

El patrón de fermentación de ácidos grasos volátiles se desplaza hacia un aumento de ácido propiónico y una disminución en los ácidos acético y butírico, y la metanogénesis se reduce (Doreau y Chilliard 1997). Un aumento de propionato y reducción de la producción de etilo a menudo tiene efectos secundarios negativos, tales como la reducción del nivel de consumo o de la digestibilidad de la fibra cuando se sobrepasan los niveles recomendados de inclusión de ácidos grasos para rumiantes (Zhang *et al.*, 2008).

2.4.6. Absorción y transporte de los ácidos grasos

La adición de lípidos en la dieta de los rumiantes causa aumentos transitorios de ácidos grasos poliinsaturados en el abomaso ya que algunos compuestos insaturados de la dieta escapan a la biohidrogenación y cuando se proporcionan altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados no protegidos en la dieta, la absorción de ácidos grasos insaturados aumenta ligeramente (Jenkins, 1993).

En los rumiantes, los ácidos grasos que alcanzan el duodeno llegan principalmente en forma de partículas de alimento, bacterias y células de descamación. Los ácidos grasos son emulsionados por las sales biliares que actúan como detergentes. La solubilización de los ácidos grasos se produce con las sales biliares y lisolectinas que permiten su solubilización en una fase micelar. Estas micelas permiten la absorción de lípidos en el yeyuno. En las células epiteliales del intestino delgado, los ácidos grasos están

esterificados, por ello los triacilgliceroles y fosfolípidos se incorporan a los quilomicrones y VLDL, que son transportados por la linfa y, con dietas ricas en grasa, en parte por la vena portal (Doreau y Chilliard 1997).

Los lípidos se transportan desde el tejido de origen (hígado, en donde son sintetizados, o intestino, en donde son absorbidos), hasta los tejidos donde son almacenados o consumidos. Son transportados en el plasma sanguíneo desde un tejido a otro en forma de lipoproteínas plasmáticas, apolipoproteínas, con diversas proporciones de fosfolípidos, colesterol, ésteres de colesterol y triacilgliceroles (Nelson y Cox, 2005).

2.5. Suplementación con ácidos grasos poliinsaturados y su efecto en la reproducción de rumiantes

Las grasas y los aceites proporcionan una fuente de ácidos grasos esenciales para numerosos procesos fisiológicos, incluyendo la reproducción (Velazquez, 2011). Diferentes trabajos se han realizado para conocer el efecto que tienen los ácidos grasos insaturados sobre la reproducción de rumiantes, tanto de forma *in vivo* como de forma *in vitro*.

Diversas hipótesis plantean que los ácidos grasos de la dieta pueden influir positivamente en la reproducción mejorando el estado de energía y aumentando los precursores para la síntesis de hormonas reproductivas, como son la progesterona, lo que podría favorecer la fertilidad. También estimulando o inhibiendo la producción/liberación de PGF₂ α influyendo en la persistencia del cuerpo lúteo y aumentando el número de folículos de diferentes etapas de desarrollo. El aumento en el número de folículos pequeños puede significar una mayor reserva de folículos disponibles para el desarrollo posterior, mientras que el aumento en el número de folículos grandes puede indicar un proceso de selección alterado. Además del aumento en el número de folículos, el tamaño de los folículos dominantes también se puede ver aumentado (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000).

2.5.1. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de prostaglandinas

Las PGE₂ y PGF₂ α son mediadores importantes de la ovulación. Los ácidos grasos poliinsaturados de la dieta pueden alterar la síntesis de prostaglandinas de la serie 2 por diferentes acciones, que incluyen la renovación parcial de ácido araquidónico en las piscinas de fosfolípidos, lo que limita la cantidad de ácido araquidónico precursor disponible para la síntesis de prostaglandinas, el aumento de la concentración de ácidos grasos que compiten con el ácido araquidónico para su procesamiento por PGHS (prostaglandina H sintasa) , y la inhibición de la expresión de genes PGHS (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000).

Los ácidos grasos de la serie n-3 y n-6 han demostrado una síntesis reducida de eicosanoides cuando estos se administran en la dieta (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000).

Las altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico en la dieta, se ha demostrado que disminuyen la síntesis/secreción endometrial de prostaglandinas. La reducción de la secreción de PGF₂ α a través la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados podría mejorar la fertilidad mediante la reducción de pérdidas embrionarias causadas por la supresión defectuosa de PGF₂ α (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000; Dean, 2008). La presencia de altas concentraciones de ácido linolénico en la dieta competiría con el ácido linoleico por la unión con Δ -6-desaturasa, disminuyendo la biosíntesis de ácido araquidónico por la inhibición de las enzimas 6 y 5 desaturasa, que son necesarias para la conversión de ácido linoleico en ácido araquidónico. La menor disponibilidad de ácido araquidónico para la incorporación a los fosfolípidos de la membrana plasmática se traducirá en una mayor incorporación de otros ácidos grasos, que pueden ser, o no, precursores de otros eicosanoides (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000).

Otros ácidos grasos, además del ácido linoleico pueden jugar funciones inhibitoras. Los ácidos araquidónico, eicosapentaenoico (C20:5), y docosahexanoico (C22:6) han demostrado que inhiben la actividad de la ciclooxigenasa. El ácido graso eicosapentaenoico también puede reducir la conversión de ácido araquidónico a PGF2 α (Thatcher y Staples, 2000).

Una suplementación con ácido eicosapentaenoico puede reducir significativamente la producción de ácido araquidónico, principal sustrato de PG. El ácido araquidónico se encuentra de forma abundante en los fosfolípidos del endometrio uterino de la borrega y es por eso que el consumo de ácido eicosapentaenoico puede influir en muchos procesos reproductivos a través de la alteración de ácido araquidónico derivado de perfiles de mediador lipídico (Cheng *et al.*, 2013).

La suplementación con los ácidos α -linolénico, ácido estearidónico y ácido linoleico tienen un efecto favorable en la síntesis de PGE2 lo que podría reducir la síntesis de PGF2 α . En consecuencia, las respuestas reproductivas reguladas por la PGF2 α se reducirían (Mattos *et al.*, 2000; Cheng *et al.*, 2013; Ghaffarilaleh *et al.*, 2014).

2.5.2. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de Progesterona

La suplementación en la dieta con aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico incrementan la cantidad de lipoproteínas de alta densidad (HDL), que a su vez sirven como fuente de colesterol, influyendo esto positivamente en la reproducción de rumiantes ya que el colesterol es el principal precursor de hormonas esteroideas como la progesterona (Palmquist, 1996; Thatcher y Staples, 2000; Dean, 2008; Ghaffarilaleh *et al.*, 2014).

La utilización de ácidos grasos poliinsaturados aumenta la síntesis y la secreción de progesterona, que se ha relacionado con una mayor fertilidad y un aumento en las tasas de concepción en rumiantes ya que la progesterona prepara al útero para la

implantación del embrión y ayuda a mantener la gestación. La suplementación con aceites también aumenta el contenido de lípidos de las células lúteas y aumenta la concentración del colesterol total en el fluido folicular (Mattos *et al.*, 2000; Thatcher y Staples, 2000).

2.5.3. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados en la síntesis de estradiol

La suplementación con ácido grasos insaturados puede reducir las concentraciones de 17β -estradiol el cual potencializa la acción de las prostaglandinas (Dean, 2008; Ghaffarilaleh *et al.*, 2014). Esto podría mejorar la fertilidad ya que los estrógenos ayudan en la regresión del cuerpo lúteo mediante la estimulación del útero para secretar $PGF2\alpha$. El estrógeno también hace más sensible el cuerpo lúteo a la acción de $PGF2\alpha$ obteniendo así una de regresión más completa del cuerpo lúteo (Thatcher y Staples, 2000).

2.5.4. Efecto de la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados sobre los folículos ováricos

La suplementación con aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados pueden afectar positivamente el crecimiento del folículo ovárico y la función lútea, independientemente del efecto calórico. Esto se refleja en un número mayor de folículos en desarrollo y un aumento en el tamaño de los folículos preovulatorios, así como un aumento en el tamaño del cuerpo lúteo debido probablemente a la ovulación de folículos más grandes. Esto se atribuye a diferentes eventos que estimulan la síntesis de lipoproteínas y colesterol, que aumentan la secreción de esteroides ováricos, modifican las concentraciones de insulina y GH circulantes y mejoran la síntesis o acumulación de la insulina como factor de crecimiento (IGF-I) en las células ováricas (Mattos *et al.*, 2000; Dean, 2008).

También se cree que la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados afecta positivamente la composición de ácidos grasos y de colesterol en el líquido folicular ovárico de las células de la granulosa y de los ovocitos, que mejoran el desarrollo embrionario, ya que los ácidos grasos de los folículos ováricos y del tracto oviductal-uterino son fuente de energía para los ovocitos y embriones de preimplantación. Esto se basa en que el uso de ácidos grasos poliinsaturados mejora el porcentaje de cigotos normales, mejora la calidad de blastocitos, y mejora la maduración nuclear de ovocitos de las borregas. Esto es importante ya que la maduración citoplasmática y nuclear son factores críticos para determinar el potencial de desarrollo de los ovocitos después de la fertilización (Ghaffarilaleh *et al.*, 2014). El número de células que sufren de apoptosis también se reduce con el uso de ácidos grasos poliinsaturados (Bilby *et al.*, 2006; Velazquez, 2011; Ghaffarilaleh *et al.*, 2014).

Sin embargo, hay un umbral no determinado en el que el colesterol se convierte en perjudicial para el desarrollo del embrión (Velazquez, 2011) y las altas concentraciones de ácidos poliinsaturados que exceden los niveles fisiológicos normales podrían ser perjudiciales para los ovocitos de las borregas (Ghaffarilaleh *et al.*, 2014).

IV. HIPÓTESIS

La suplementación con una fuente rica en ácidos grasos poliinsaturados mejorará el desempeño reproductivo en borregas de pelo primíparas en condiciones tropicales.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre los valores de algunos indicadores del desempeño reproductivo en borregas de pelo primíparas en condiciones tropicales.

3.1. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre el inicio y la duración del estro de borregas primíparas sincronizadas, y con servicio por monta natural.

Evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre el porcentaje de gestación y parición de borregas primíparas sincronizadas, y con servicio por monta natural.

Evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz sobre la prolificidad de borregas primíparas sincronizadas, y con servicio por monta natural.

V. REFERENCIAS

- Abubakr, A. R., Alimon, A. R., Yaakub, H., Abdullah, N., Ivan, M. 2013. Digestibility, rumen protozoa, and ruminal fermentation in goats receiving dietary palm oil by products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 12: 147–154.
- Bartlewski, P. M., Baby, T. E., Giffin, J. L. 2011. Review article. Reproductive cycles in sheep. *Animal Reproduction Science*. 124: 259 – 268.
- Bessaa,b, R. J. B., Santos, S. J., Ribeiroa, J. M. R., Portugal, A. V. 2000. Review. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livestock Production Science*. 63: 201–211.
- Bilby, T. R., Block, J., do Amaral, B. C., Sa Filho, O., Silvestre, F. T., Hansen, P. J., Staples, C. R. Thatcher, W. W. 2006. Effects of Dietary Unsaturated Fatty Acids on Oocyte Quality and Follicular Development in Lactating Dairy Cows in Summer. *American Dairy Science Association*. 89: 3891 – 3903.
- Buccioni, A., Decandiab, M., Minieria, S., Molleb, G., Cabiddub, A. 2012. Review. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*. 174: 1 – 25.
- Cheng, Z., Abayasekara, R. D. E., Ward, F., Preece, D. M. W., Raheem, K. A., Wathes D. C. 2013. Altering n-3 to n-6 polyunsaturated fatty acid ratios affects prostaglandin production by ovine uterine endometrium. *Animal Reproduction Science*. 143: 38-47.
- Cheng, Z., Elmes, M., Kirkup, S., Abayasekara, D.R.E., Wathes, D. C. 2011. Effects of n-6 polyunsaturated fatty acids on prostaglandin production in ovine fetal chorion cells in vitro in late gestation ewes. *Placenta*. 32: 752 – 756.

- Dean, D. B. 2008. Uso de lípidos en dietas para rumiantes. *Desarrollo Sostenible de la Ganadería de Doble Propósito*. 444 - 462.
- Doreau, M. y Chilliard, Y. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition*. 78: 15 – 35.
- Evans, G. y Maxwell, C. 1990. Inseminación artificial en ovejas y cabras. En: Salamon, S. *Inseminación artificial en ovejas y cabras*. Zaragoza. Acribia. pp 158-161.
- Funston, N. R. 2004. Fat Supplementation and Reproduction in Beef Females. *Faculty Papers and Publications in Animal Science*. Paper 598.
- Galina, M. A., Morales, R., Silva, E., López, B. 1996. Reproductive performance of Pelibuey and Blackbelly sheep under tropical management systems in Mexico. *Small Ruminant Research*. 22: 31–37.
- Ghaffarilaleh, V., Nashta, A. F., Paramio, M. T. (2014). Effect of α -linolenic acid on oocyte maturation and embryo development of prepubertal sheep oocytes. *Theriogenology*. 82: 686–696.
- Godfrey, R. W., Weis, A. J., Dodson, R. E. 2003. Effect of Flushing Hair Sheep Ewes During the Dry and Wet Seasons in the U.S. Virgin Islands. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2 (3): 184-190.
- Goodman, R. L. y Inskeep, E. K. 2015. Control of the Ovarian Cycle of the Sheep. Capítulo 27. 2: 1259–1305. *Knobil y Neill's. Physiology of Reproduction*. Cuarta edición. Academic Press.
- González, G. R., Torres, H. G., Arece, G. J. 2010. Comportamiento productivo y reproductivo de ovinos Pelibuey en un sistema de pariciones aceleradas con tres épocas de empadre al año. *Zootecnia Tropical*. 28(1): 51-56.

- Herrera, C. A., Salazar, O. J., Morales, T. G., Martínez, A., Gallegos, Z. J. (2010). Efecto del aceite de soya en la dieta y la condición corporal sobre la población folicular y tasa ovulatoria de ovejas Pelibuey en dos épocas reproductivas. *Universidad y Ciencia*. 6 (2): 205-210.
- Herrera C. J., Quintal, F. J. A., Kú, V. J. C., Williams, G. L. 2003. Effect of polyunsaturated fatty acids on follicular dynamics, pregnancy rate and ovaric response of pelibuey sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2: 101-104.
- Herrera, C. J., Tinoco, M. J. C., Orozco, D. K. E. 2012. Suplementación Grasa y su Efecto sobre la Reproducción de Rumiantes. Reunión Bianual sobre Reproducción Animal. 17-36.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid Metabolism in the Rumen. Symposium: Advances in Ruminant Lipid Metabolism. *Journal Dairy Science*. 76: 3851 - 3863.
- Jerome, A. y Srivastava, N. 2012. Prostaglandins vis-à-vis bovine embryonic mortality: a review. *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 1(3): 238 - 246.
- López, S. A., Santiago, M. J., De Bulnes, G. A., García, L. M. 1993. Aspectos característicos de la fisiología reproductiva de la oveja. *Revista científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad del Zulia*. 3: 123-133.
- Mattos, R., Staples, C. R., Thatcher, W.W. (2000). Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Journals of Reproduction and Fertility*. 5, 38-45.
- Mekoya, A., Oosting, S. J., Fernandez, R., Tamminga, S., Tegegne, A., Van der Zijpp, A. J. 2009. Effect of supplementation of *Sesbania sesban* on reproductive performance of sheep. *Livestock Science*. 121: 117–125.

Méndez, C. R. 2012. Parámetros reproductivos en ovejas de pelo suplementadas con glicerol, aceite de pescado y L- arginina. Tesis doctoral del Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo.

Naqvi, S. M. K., Soren, N. M., Karim, S. A. 2011. Effect of concéntrate supplementation on performance, ovarian response, and some biochemical profile of Malpura ewes. *Tropical Animal Health and Production*. 43: 905–913. DOI 10.1007/s11250-011-9782-8.

Naqvi, S. M. K., Soren, N. M., Karim, S. A. 2013. Effect of feed flushing during summer season on growth, reproductive performance and blood metabolites in Malpura ewes under semiarid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*. 45: 143–148. DOI 10.1007/s11250-012-0185-2.

Nelson, L. D. y Cox, M. M. (2005) *Principios de Bioquímica Lehninger* (4ª Ed.). Omega. ISBN 9788428214100.

Nuñez, Q. M. 1993. Morfología del Tracto Genital de la Hembra. *Revista científica, Facultad de Ciencias Veterinarias*. 2: 77 – 85.

Palmquist, D. L. 1996. Utilización de lípidos en dietas de rumiantes. XII Curso de especialización FEDNA.

Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muños, G. M., 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. DOI: 10.1051/rnd: 2006016.

- Silvia, W. J., Lewis, G. S., McCracken, J. A., Thatcher, W. W., Wilson, L. JR. 1991. Review. Hormonal regulation of uterine secretion of prostaglandin F2 during Luteolysis in ruminants. *Biology of reproduction*. 45: 655 - 663.
- Sormunen, C. R. y Jauhiainen, L. 2002. Effect of nutritional flushing on the productivity of Finnish Landrace ewes. *Small Ruminant Research*. 43: 75–83.
- Stouffer, R. L. y Hennebold, J. D. 2015. Structure, Function, and Regulation of the Corpus Luteum. Capítulo 23. Knobil y Neill's *Physiology of Reproduction*, Fourth Edition. Pp. 1023-1076.
- Thatcher, W. W. y Staples, C. R. 2000. Effects of Dietary Fat Supplementation on Reproduction in Lactating Dairy Cows. *Advances in Dairy Technology*. 12: 213 – 229.
- Vasconcellos, C. A., Carrasco, R. J., Valdés, F. F. 2008. Estudio Histomorfológico Comparativo del Endometrio. *International Journal of Morphology*. 26 (1):143-148.
- Velazquez, M. A. 2011. Review. The role of nutritional supplementation on the outcome of superovulation in cattle. *Animal Reproduction Science*. 126: 1 – 10.
- Weems, C. W., Weems, Y. S., Randel, R. D. 2006. Review. Prostaglandins and reproduction in female farm animals. *The Veterinary Journal*. 171: 206 – 228.
- Wonnacott, K. E., Kwong, Y. W., Hughes, J., Salter, A. M., Lea, R. G., Garnsworthy, P. C., Sinclair, K. D., Sinclair, K. D. 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.
- Zhang, C. M., Guo, Y.Q., Yuan, Z. P., Wu, Y. M., Wang, J. K., Liu, J. X., Zhu, W.Y. 2008. Effect of octadeca carbon fatty acids on microbial fermentation,

methanogenesis and microbial flora *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*.
146: 259–269.

VI. ARTÍCULO CIENTÍFICO

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ACEITE DE MAÍZ SOBRE EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE BORREGAS DE PELO PRIMÍPARAS EN CONDICIONES DEL TROPICO

Effect of supplementation with corn oil on reproductive performance in primiparous hair
ewes in tropical conditions

*Alfredo Soto Aguilar, Jesús Ricardo Aké López, Luis Sarmiento Franco, Ronald Santos
Ricalde.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán.
Carr. Mérida-X'matkuil km 15.5, Apdo. I 4-116 Itzimná, CP 97100, Mérida, Yucatán,
México. Tel. 01 9999 42 32 00; ext. 23 fax 01 .9999 423205; E-
mail: *soto_cornet@hotmail.com

Autor para correspondencia*

[Artículo escrito bajo las políticas editoriales de la revista Ecosistemas y Recursos
Agropecuarios]

Suplementación con poliinsaturados sobre prolificidad en borregas

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ACEITE DE MAÍZ SOBRE EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE BORREGAS DE PELO PRIMÍPARAS EN CONDICIONES DEL TROPICO

Effect of supplementation with corn oil on reproductive performance in primiparous hair ewes in tropical conditions

*Alfredo Soto Aguilar, Jesús Ricardo Aké López, Luis Sarmiento Franco, Ronald Santos Ricalde.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán.

Carr. Mérida-X'matkuil km 15.5, Apdo. I 4-116 Itzimná, CP 97100, Mérida, Yucatán,

México. Tel. 01 9999 42 32 00; ext. 23 fax 01 .9999 423205; E- mail: soto_cornet@hotmail.com

Autor para correspondencia*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con aceite de maíz, sobre el porcentaje de gestación, el porcentaje de parición y la prolificidad de borregas de pelo primíparas sincronizadas con CIDR. Se utilizaron 42 borregas primíparas, con una condición corporal de 3 a 4, una edad de entre 8 y 9 meses, y un peso vivo de 32.2 ± 4.28 kg. Las ovejas fueron divididas al azar en dos grupos, el grupo testigo y un grupo experimental suplementado con aceite de maíz. Ambos grupos fueron mantenidos con alimento balanceado desde 7 días previos a la sincronización y hasta 14 días después de haber colocado el CIDR. El grupo experimental fue suplementado con aceite de maíz (4 % de su consumo de MS). Los resultados del porcentaje de gestación y de parición fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, la prolificidad fue mayor en el grupo de borregas suplementadas con aceite de maíz (1.61 crías) en comparación al grupo testigo (1.13 crías; $P < 0.05$). La suplementación con aceite de maíz en la dieta influyó positivamente en la prolificidad de borregas primíparas por lo cual la suplementación con aceite de maíz puede ser una alternativa viable en la época de empadre para mejorar los índices reproductivos.

Palabras clave: aceite de maíz, borregas primíparas, tasa de parición, prolificidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of supplementation with corn oil (4% of consumption DM) rich in polyunsaturated fatty acids on pregnancy rate, farrowing rate and prolificacy of primiparous ewes, synchronized with CIDR (Controlled Drugs Internal Releasing). Forty two hair ewes aged 8-9 months, weighed 32.24 ± 4.28 kg and scored body condition between 3 and 4 were used. The ewes were randomly assigned to a control diet and diet supplemented with corn oil. Both groups were fed from 7 days before synchronization and 14 days after CIDR (Controlled Internal Drugs Releasing) implantation. The results of pregnancy rate and lambing rate were similar among treatments ($P>0.05$). However, prolificacy was higher in the group supplemented with corn oil (1.61 offspring) ($P<0.05$) compared to the control group (1.13 offspring). Supplementation with corn oil positively influenced the prolificacy of primiparous sheep, so the corn oil supplementation may be a viable alternative during the breeding season to improve reproductive rates.

Keywords: corn oil, primiparous sheep, lambing rate, prolificacy.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que afecta la reproducción animal es la nutrición. La estrecha interdependencia de la nutrición con la reproducción es un elemento crítico para la obtención de una adecuada eficiencia productiva (Scaramuzzi *et al.* 2006). Las necesidades energéticas de las hembras para la reproducción son considerables. En ovinos, la respuesta folicular es sensible al factor nutricional, y la tasa de ovulación puede ser aumentada por la manipulación nutricional, siendo una herramienta para el control de la tasa de ovulación y la prolificidad (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

Es por ello que se han estado investigando diversos métodos para mejorar la eficiencia reproductiva en borregas, enfocados al aspecto nutricional. Uno de estos métodos es el uso de aceites vegetales, cómo el aceite de soya, que incrementa la tasa ovulatoria (Herrera *et al.*, 2010), así como el aceite de maíz que mejora la tasa de fecundidad y la tasa de prolificidad (Herrera *et al.*, 2003). Esto se pudiera deber a que la suplementación con aceites vegetales, ricos en ácidos grasos poliinsaturados, afecta positivamente la función reproductiva en varios tejidos importantes, incluyendo el hipotálamo, hipófisis, ovario y útero. La respuesta reproductiva parece ser dependiente del tipo de ácido graso (Funston, 2004). La suplementación con ácidos grasos puede mejorar los niveles séricos de colesterol, precursor de la progesterona, así como también los niveles séricos de insulina, somatotropina, leptina y ácidos grasos no esterificados, relacionándose con una mejor

respuesta endocrina del eje hipotálamo-hipófisis-gónada o del desarrollo folicular ovárico. La suplementación con ácidos grasos poliinsaturados también puede modificar los niveles de glucosa, estimulando la secreción de LH desde la pituitaria anterior (Scaramuzzi *et al.* 2006; Wonnacott *et al.* 2010; Herrera *et al.* 2012; Mendez 2012).

Los trabajos realizados sobre suplementación con aceites están enfocados en su mayoría a borregas multíparas, con resultados contradictorios. En el mismo sentido, los trabajos realizados con borregas primíparas son escasos y no han arrojado resultados contundentes. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con una fuente rica en ácidos grasos poliinsaturados en algunos de los indicadores del desempeño reproductivo en borregas de pelo primíparas en condiciones del trópico en Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y clima del sitio experimental. El trabajo se realizó durante los meses de octubre a marzo del 2015, en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Ubicado 20°58' N y 89°36' O, a 9 msnm; en la localidad de X'matkuil, Yucatán, con un clima del tipo Aw0, con una precipitación pluvial anual de 1148 mm con lluvias en verano, una temperatura media anual de 26.6 °C con una máxima promedio de 32.6°C y mínima de 20.5°C, y una humedad relativa del 80% y (CONAGUA, 2014).

Animales y tratamientos. Se utilizaron 42 borregas primíparas de pelo (Cruzas de Pelibuey/Katahdin), con una condición corporal de 3 a 4 puntos en una escala del 1 al 5 (Villar y Zimerman, 2010), con una edad de entre 8 a 9 meses, y un peso vivo de 32.24 ± 4.28 kg (32.78 ± 4.40 para el grupo con aceite y 31.75 ± 4.22 para el grupo sin aceite).

Las borregas fueron distribuidas al azar en dos grupos. Ambos grupos recibieron alimento balanceado durante un periodo de 21 días, el cual se proporcionó desde 7 días previos a la sincronización hasta 14 días después de haber colocado el dispositivo para la sincronización (CIDR). El concentrado fue isoprotéico e isoenergético y se elaboró a base de maíz, salvado de trigo y pasta de canola. También se le ofreció a ambos grupos pasto *Pennisetum purpureum* picado (200 g en base fresca). Esta ración se elaboró para cubrir una necesidad de 11.1 MJ/d EM y 79 g/d de PM con un consumo de materia seca (MS) de 0.940 kg y una ganancia diaria de peso (GDP) estimada de

150 g de acuerdo al AFRC (1996). Adicionalmente a esto, al alimento balanceado del grupo con aceite se le añadieron 37 g (4% del consumo de MS aportados por el alimento balanceado) de aceite de maíz por animal, lo que aumentó 1.4 MJ/d de EM a la ración por borrega, con lo cual, la dieta grupo con aceite tuvo 12.5 MJ/d de EM aproximadamente.

La composición química de los ingredientes de la dieta y el porcentaje de inclusión de los ingredientes se presentan en las tablas 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Composición química de los ingredientes de la dieta

Insumo	MS (g/kg)	EM (MJ/kg MS)	PC (g/kg MS)	FDN (g/kg MS)	FDA (g/kg MS)	PDER (g/kg MS)	PNDR (g/kg MS)
Pasta. de canola	0.921	10.38	360	23.36	16.8	128.3	200.9
Salvado	0.900	12.9	154	541	114	117.59	32.77
<i>P. purpureum</i>	0.367	6.7	26	746	545	7.56	16.6
Maíz	0.860	14.2	98	117	28	32	52
Aceite	0.950	33	0	0	0	0	0
Minerales	0.950	0	0	0	0	0	0

MS: materia seca. EM: energía metabolizable. PC: proteína cruda. FDN: fibra detergente neutra. FDA: fibra detergente ácida. PDER: proteína degradable en el rumen. PNDR: proteína no degradable en el rumen.

Tomado parcialmente de: base de datos AFRC 1993.

Tabla 2. Porcentaje de inclusión de los ingredientes de la dieta

Insumo	Inclusión %	MS (g/kg)	EM (MJ/kg MS)	PC (g/kg MS)	PDER (0.05)	PNDR (0.05)
Pasta de Canola	9.0	0.098	1.02	35.42	12.62	19.76
Salvado de Trigo	20.0	0.218	2.81	33.54	25.61	7.14
Maíz	50.0	0.539	7.66	38.82	12.68	20.60
Aceite	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
Minerales	2.0	0.022	0.00	0.63	0.00	
Total	81.0	0.877	11.49	108.41	50.91	47.50

MS: materia seca. EM: energía metabolizable. PC: proteína cruda. PDER: proteína degradable en el rumen. PNDR: proteína no degradable en el rumen.

Alojamiento. Cada uno de los animales se alojó en corraletas individuales de 3m². Las corraletas contaron con piso de cemento y con divisiones de concreto y rejas de acero, permitiendo una adecuada ventilación. También se contó con bebederos y comederos de plástico individuales. Las corraletas se encontraban dentro de una galera de 120 m² con techo de lámina de asbesto para proteger a los animales de las inclemencias meteorológicas.

Sincronización, detección del estro y monta. La sincronización del estro se llevó a cabo con el uso del dispositivo CIDR (Controlled Internal Drugs Releasing) el cual se colocó de forma intravaginal (día 0) y fue retirado 12 días después. Doce horas después de retirado el CIDR, se empezaron a detectar los estros, 2 veces al día (07:00 y 19:00 h) durante 3 días. Para ello las borregas fueron expuestas a machos enteros (3 sementales evaluados previamente en su comportamiento sexual) durante un periodo de 10 minutos, o bien, hasta que se realizaba la monta o en su defecto el rechazo de la hembra era evidente. A las borregas se les dio monta natural a las 0 y 24 horas de detectado el estro.

El diagnóstico de gestación se realizó por ultrasonografía primero a los 35 días después de la monta y se repitió el día 60 pos monta.

Después de la detección de los celos y la monta por parte de los machos, las borregas fueron alojadas de forma grupal y se mantuvieron con una dieta de mantenimiento basada en pasto *P. purpureum* y alimento balanceado.

Análisis estadístico. Las variables de respuesta de este experimento fueron: consumo, ganancia de peso, duración del inicio del estro post-retiro del CIDR, proporción de borregas en estro, duración del estro (promedio), porcentaje de gestación (borregas servidas y diagnosticadas como gestantes), porcentaje de parición (proporción de borregas servidas que llegan al parto), número de corderos por borrega expuesta (número de corderos nacidos entre el número de borregas con servicio) y la prolificidad de las borregas (número de corderos nacidos entre el número de borregas que parieron). Para evaluar las proporciones (% de borregas en estro, % de borregas gestantes, % partos), los consumos y las ganancias de peso, se utilizó una prueba de Chi-cuadrada, mientras que para el inicio del estro, duración del estro, la prolificidad y el número de corderos por borrega expuesta se utilizó una prueba de "t", ambos utilizando el paquete estadístico SAS (2006).

RESULTADOS

La inclusión de aceite de maíz en la ración de las borregas no influyó en el consumo de materia seca del alimento concentrado ni en la ganancia de peso de las ovejas (Tabla 3).

El inicio del estro se presentó más temprano en las borregas suplementadas con aceite de maíz en comparación con las borregas del grupo testigo, habiendo una diferencia de 12.7 h (Tabla 4)

($P < 0.05$). En cuanto a la duración del estro y el porcentaje de borregas en estro los valores encontrados fueron similares entre los grupos ($P > 0.05$) (Tabla 4).

Respecto al porcentaje de gestación (promedio de borregas diagnosticadas gestantes de las servidas) y el porcentaje de parición (promedio de borregas paridas de las servidas) los resultados obtenidos fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, la prolificidad fue mayor en el grupo de borregas suplementadas con aceite de maíz (1.61 crías) comparado con las borregas que no lo recibieron (1.13 crías; $P < 0.05$).

Tabla 3. Consumo porcentaje de peso vivo de borregas suplementadas con aceite de maíz

Variables	Con Aceite	Sin Aceite	P
	n= 20	n= 22	
Consumo de MS de alimento (% PV)	2.20 ^a ± 0.05	2.29 ^a ± 0.09	0.428
Ganancia de peso (kg/d)	0.131 ^a ± 0.017	0.115 ^a ± 0.018	0.544

Filas con diferente literal difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Tabla 4. Variables reproductivas en borregas primíparas (n= 42) suplementadas con aceite de maíz

Variables	Tratamientos		Valor-P
	Con Aceite de Maíz	Sin Aceite de Maíz	
	(n= 20) ± E.E.	(n= 22) ± E.E.	
Inicio del estro (h)	38.52 ^a ± 11.59	51.27 ^b ± 17.04	0.009
Duración del estro (h)	38.53 ^a ± 19.26	31.64 ^a ± 15.94	0.197
% de ovejas en estro	95 ± 0.034	100 ± 0.032	0.300
Porcentaje de gestación (%)	80 ± 0.085	86.36 ± 0.081	0.591
Porcentaje de parición (%)	65 ± 0.107	68.18 ± 0.102	0.832
Prolificidad	1.61 ^a ± 0.65	1.13 ^b ± 0.35	0.019
Partos simples (%)	46.15	86.67	
Partos múltiples (%)	53.85	13.33	
Corderos por oveja expuesta	1.05 ^a ± 0.21	0.77 ^a ± 0.13	0.261

Las filas con diferente literal difieren significativamente ($P < 0,05$).

DISCUSIÓN

Inicio y duración del estro. En este experimento la suplementación con aceite de maíz en la ración de borregas primíparas influyó positivamente en el inicio del estro en comparación con el grupo sin aceite de maíz (38.52 h vs 51.27 h). El inicio del estro del grupo con aceite de maíz fue similar a lo reportado por Nieto *et al.* (2015), quienes observaron un inicio del estro a las 41.0 h post-retiro del

dispositivo de sincronización en borregas primerizas suplementadas durante un periodo corto con harina y aceite de pescado, con aplicación de una dosis (200 UI) de gonadotropina coriónica equina (eCG). El hecho de haber encontrado en el presente estudio un menor tiempo al inicio del estro pudo deberse a un aumento en el crecimiento folicular, ya que los ácidos grasos poliinsaturados del aceite vegetal pueden estimular el crecimiento de los folículos, y el incremento en el número y tamaño de éstos tiene como resultado un aumento en los niveles de estradiol (Funston 2004; Herrera et al. 2010; Herrera et al. 2012), el cual estimula los centros que controlan la oleada de GnRH-LH, por lo cual el hipotálamo aumentó la frecuencia de GnRH que a su vez aumenta las concentraciones de LH tónico, lo que mantiene el crecimiento folicular y estimula la secreción de estradiol desde el ovario (Goodman y Inskeep, 2015), necesario para el inicio del estro y la ovulación (Zhuo et al. 2014). Otro factor relacionado con el incremento de la concentración de estradiol en la sangre es debido a la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados, ya que estos incrementan la cantidad de lipoproteínas de alta densidad y los niveles de colesterol en el plasma, siendo este último el principal precursor para la síntesis de esteroides (Daghigh y Asgari, 2015).

La presentación más temprana del estro en el grupo con aceite de este experimento, también se pudo deber a que el uso de ácidos grasos poliinsaturados pueden aumentar las concentraciones de PGE2 y PGF2 α en las células endometriales del útero de las borregas (Cheng *et al.* 2013), debido a que los estrógenos estimulan la síntesis de PG del útero, y hacen más sensible al CL a la acción de PGF2 α (Thatcher y Staples 2000), lo que provocaría una luteólisis más temprana al momento del retiro del CIDR, provocando así un inicio más temprano del estro (Gulliver *et al.* 2012).

Porcentaje de gestación y parición. En el presente estudio las variables porcentaje de gestación y parición no tuvieron diferencia entre el grupo con aceite (80%; 65%) respecto al grupo testigo (86.36%; 68.18%). Esto coincide con lo reportado por Nieto *et al.* (2015), quienes no encontraron diferencia en la tasa de concepción en borregas primíparas suplementadas con harina y aceite de pescado (52%) contra el grupo testigo (57%). Sin embargo, los valores reportados por estos autores son inferiores a los presentados en este experimento (52% vs 80%) entre los grupos con el suplemento energético.

Esta respuesta también coincide con Cansino *et al.* (2009) quienes mencionaron que no había efecto en las variables tasa de concepción y tasa de fertilidad entre el grupo testigo (90%; 77.8%) y los grupos suplementados con melaza (90%; 74.5%) y aceite de maíz (93%; 84.7%) de borregas

múltiparas. Sin embargo, si hubo una diferencia entre la tasa de concepción (80%vs 93%) y la variable de fertilidad (65% vs 84.7%) entre el trabajo de Cansino *et al.* (2009) y el presente estudio para los grupos suplementados con aceite de maíz.

El resultado obtenido en este experimento se pudo deber a la buena condición corporal de los animales en ambos grupos (3 en una escala del 1 al 5), ya que el efecto de la suplementación grasa sobre el porcentaje de gestación probablemente se incrementa en animales con una condición corporal deficiente (Herrera *et al.* 2010; Herrera *et al.* 2012). Por lo que una mejor respuesta reproductiva a la suplementación puede ocurrir solamente en situaciones de balance energético negativo (Herrera *et al.*, 2012). La respuesta reproductiva de los animales a la suplementación con lípidos parece ser dependiente de muchos factores, como son la edad (paridad), los nutrientes disponibles en la dieta basal, el tipo de suplemento lipídico y la condición corporal (Funston 2004).

Prolificidad. En el presente trabajo, se encontró un efecto en la variable de prolificidad ($p < 0.05$) cuando se suplemento la ración de las borregas primíparas con aceite de maíz, rico en ácidos grasos poliinsaturados, en comparación con el grupo sin aceite. Esto concuerda con lo reportado por Cansino *et al.* (2009), quienes reportaron un incremento en la prolificidad de borregas cuando usaron un suplemento de aceite de maíz (1.79) en comparación con el grupo testigo (1.46) y un grupo suplementado con melaza (1.55) ($p < 0.05$). Este efecto también se observó por Herrera *et al.* (2003), quienes mencionan un incremento en la prolificidad de borregas suplementadas con aceite de maíz (1.26) en comparación con un grupo de borregas suplementadas con aceite de pollo (1.1). El incremento de la prolificidad fue 26% superior para el grupo suplementado con aceite vegetal, lo que es similar a lo reportado en este trabajo (29.81%).

El incremento de la prolificidad en este trabajo de las borregas suplementadas con aceite de maíz se pudo deber al consumo de ácidos grasos poliinsaturados, ya que estos estimulan el crecimiento de los folículos preovulatorios, aumentando el número total, y el tamaño en borregas suplementadas (Funston 2004; Herrera *et al.* 2010; Herrera *et al.* 2012).

La administración de aceites vegetales ricos en ácidos grasos insaturados (18:1 y 18:2) puede aumentar la proporción de propionato en el rumen, debido al exceso de NADH que es canalizado a la formación de propionato debido al incremento de hidrógeno resultante de la inhibición de los microorganismos metanógenos en el rumen (Kumar-Patra 2013). Esto es importante ya que se obtiene un incremento en la producción de glucosa a través de una mayor obtención de propionato

en el rumen (Daghigh y Asgari 2015). Esto se debe a que el propionato es la fuente de glucosa principal en los rumiantes, ya que este entra a la ruta gluconeogénica por la vía del ácido cítrico, después de su conversión en succinil-CoA (Nelson y Cox 1992). Este aumento de la glucosa puede tener un efecto positivo en la liberación de LH que estimula el crecimiento de los folículos preovulatorios, aumentando el número total de folículos, y el tamaño de los folículos preovulatorios, ya que la LH estimula la última etapa de crecimiento folicular (Funston 2004). El incremento en el número y tamaño de los folículos tiene como resultado un aumento en los niveles de estradiol, ya que los folículos más desarrollados tienen dominancia sobre el resto de los folículos y presenta una mayor capacidad de síntesis de hormonas esteroides. El β -estradiol es secretado por las células de la granulosa del folículo, y por medio de una retroalimentación positiva el estradiol estimula la frecuencia de la secreción de GnRH y aumenta la sensibilidad de la pituitaria anterior a la GnRH. A su vez, la GnRH estimula la frecuencia y amplitud de los pulsos de FSH y LH, y por medio de una retroalimentación positiva con el hipotálamo provocan el pico de LH para la selección de los folículos ovulatorios y para la ovulación (López *et al.* 1993; Daghigh y Asgari 2015). La ovulación de folículos más grandes puede resultar en la formación de cuerpos lúteos más grandes con el aumento de la capacidad esteroidogénica y resultar en una mayor producción de progesterona, que se ha asociado con mayores tasas de concepción (Funston 2004). La presencia de un mayor número de folículos de talla grande que potencialmente pueden ovular podría ser el factor clave para mejorar la prolificidad con el uso de aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados.

Sin embargo, cabe señalar que las mejoras en los indicadores reproductivos también se pueden deber al incremento de la energía añadida en la dieta (Funston 2004), ya que se han reportado sus efectos sobre el número de folículos (Scaramuzzi *et al.*, 2006), que podrían influir directamente en el desempeño reproductivo de las borregas.

CONCLUSIÓN

La suplementación con un 4% de aceite de maíz en la dieta no influyó en la duración del estro, así como tampoco influyó en el porcentaje de gestación y parición. Sin embargo, dicha suplementación afectó positivamente en el inicio del estro y en la prolificidad de borregas primíparas en condiciones del trópico. Esto sugiere que la suplementación con aceite de maíz puede ser una alternativa viable en la época de empadre para mejorar los índices de prolificidad de borregas primíparas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de maestría otorgada al primer autor.

REFERENCIAS

- AFRC. (1996). Necesidades energéticas y proteicas de los rumiantes. Editorial Acribia, S.A. 1ª edición. ISBN 10: 8420008028.
- CONAGUA (2014). Reporte del clima en México. Reporte Anual 2014. Servicio Meteorológico Nacional. www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/.../EAM2014.pdf
- Cansino, A. G., Herrera, C. J., Aké, L. J. R. (2009). Tasas de concepción, fertilidad y prolificidad en ovejas de pelo alimentadas con dietas enriquecidas con ácidos grasos poliinsaturados. *Universidad y Ciencia*. 25(1):181-185.
- Cheng, Z., Abayasekara, R. D. E., Ward, F., Preece, D. M. W., Raheem, K. A., Wathes D. C. 2013. Altering n-3 to n-6 polyunsaturated fatty acid ratios affects prostaglandin production by ovine uterine endometrium. *Animal Reproduction Science*. 143: 38-47.
- Cheng, Z., Elmes, M., Kirkup, S., Abayasekara, D.R.E., Wathes, D. C. (2011). Effects of n-6 polyunsaturated fatty acids on prostaglandin production in ovine fetal chorion cells in vitro in late gestation ewes. *Placenta*. 32: 752 – 756.
- Daghigh, K. H. y Asgari, S. A. H. (2015). Effects of calcium salts of fatty acids (CSFA) with different profiles (ω 3 and ω 6) during the flushing period on reproductive performance of 'Afshari' ewes. *Small Ruminant Research*. 126; 1–8.
- Funston, N. R. (2004). Fat Supplementation and Reproduction in Beef Females. Faculty Papers and Publications in Animal Science. Paper 598. <http://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/598>.
- Gulliver, C. E., Friend, M. A., King, B. J., Clayton. E. H. (2012). Review article. The role of omega-3 polyunsaturated fatty acids in reproduction of sheep and cattle. *Animal Reproduction Science*. 131: 9 – 22.
- Herrera, C. A., Salazar, O. J., Morales, T. G., Martínez, A., Gallegos, Z. J. (2010). Efecto del aceite de soya en la dieta y la condición corporal sobre la población folicular y tasa ovulatoria de ovejas Pelibuey en dos épocas reproductivas. *Universidad y Ciencia*. 6 (2): 205-210.

- Herrera C. J., Quintal, F. J. A., Kú, V. J. C., Williams, G. L. (2003). Effect of polyunsaturated fatty acids on follicular dynamics, pregnancy rate and ovaric response of pelibuey sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2: 101-104.
- Herrera, C. J., Tinoco, M. J. C., Orozco, D. K. E. (2012). Suplementación Grasa y su Efecto sobre la Reproducción de Rumiantes. Reunión Bianual sobre Reproducción Animal. 17-36.
- Kumar-Patra. 2013. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock Science*. 155: 244 – 254
- López, S. A., Santiago, M. J., De Bulnes, G. A., García, L. M. (1993). Aspectos característicos de la fisiología reproductiva de la oveja. *Revista científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad del Zulia*. 3: 123-133.
- Martínez, T. J. J., Izaguirre, F. F., Sánchez, O. L., García, C. C. G., Martínez, P. G., Torres, H. G. (2007). Comportamiento reproductivo de ovejas Barbados barriga negra sincronizadas con MPA y diferentes tiempos de aplicación de eCG durante la época de baja fertilidad. *Revista científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad del Zulia*. 1: 47 - 52.
- Méndez, C. R. (2012). Parámetros reproductivos en ovejas de pelo suplementadas con glicerol, aceite de pescado y L- arginina. Tesis doctoral del Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo.
- Nelson, L. D. y Cox, M. M. (2005) *Principios de Bioquímica Lehninger (4ª Ed.)*. Omega. ISBN 9788428214100.
- Nieto, R., Sánchez, T. M. T., Mejía, O., Figueroa, J. L., Olivares, L., Peralta, J. G., Cordero, J. L., Molina, P., Cárdenas, M. (2015). Effect of fish meal and oil on hormone profile and reproductive variables in ewes inseminated by laparoscopy. *Livestock Science*. En prensa.
- SAS®.2006. SAS/STAT Institute Inc. Statistical Analysis Systems Institute. Version 9.1th Ed. Cary, NC.: SAS Institute Inc. Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muños, G. M., 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. DOI: 10.1051/rnd: 2006016.
- Thatcher, W. W. y Staples, C. R. (2000). Effects of Dietary Fat Supplementation on Reproduction in Lactating Dairy Cows. *Advances in Dairy Technology*. 12: 213 – 229.

- Villar, L. y Zimerman, M. (2010). Empleo de la condición corporal como indicador para el manejo de la majada y la calidad de la canal. Actualización en Producción Ovina. Memorias VIII Curso de Actualización en Producción Ovina San Carlos de Bariloche. ISBN: 978-987-1623-82-2. Pp. 219-225.
- Wonnacott, K. E., Kwong, Y. W., Hughes, J., Salter, A. M., Lea, R. G., Garnsworthy, P. C., Sinclair, K. D., Sinclair, K. D. (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.
- Zhuo, Y., Zhou, D., Che, L., Fang, Z., Lin, Y., De Wu. (2014). Feeding prepubescent gilts a high-fat diet induces molecular changes in the hypothalamus-pituitary-gonadal axis and predicts early timing of puberty. *Nutrition*. 30: 890 – 896.