



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL ENRIQUECIDO
(*Opuntia megacantha*-SALM-DYCK) SOBRE EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO
EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS AL EFECTO MACHO
BAJO CONDICIONES EXTENSIVAS

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES

Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA:

OMAG CANO VILLEGAS

DIRECTOR:

Dr. CÉSAR A. MEZA HERRERA



Bermejillo, Durango, México, Enero, 2016

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL ENRIQUECIDO
(*Opuntia megacantha*-SALM-DYCK) SOBRE EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO
EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS
AL EFECTO MACHO BAJO CONDICIONES EXTENSIVAS**

Tesis realizada por **Omag Cano Villegas** abajo la Dirección del Comité Asesor, evaluada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS**

Director



Dr. César Alberto Meza Herrera
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA

Co-Director



Dr. Arnoldo Flores Hernández
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA

Asesor



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - UL

Asesor



Dr. Ulises Macías Cruz
Universidad Autónoma de Baja California - ICA

Asesor



Dr. Marco Andrés López Santiago
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA

Bermejillo, Durango, Enero, 2016.

Se hace patente un reconocimiento al apoyo recibido:

Al Programa de Becas CONACYT Nacionales 2014-2015.

Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en
Zonas Áridas 2014-2015 (UACH-URUZA).

Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo y todo el proceso de la maestría a mi esposa Cassandra y a mi hija Julia porque significan mucho para mí, para ustedes va dedicado todo mi esfuerzo. También a mis padres por inculcarme el hábito de estudiar, así como todo lo que me han enseñado.

Todo en esta vida debe tener un objetivo, y el objetivo de cursar esta maestría, más que conservar el medio ambiente, siento que mi objetivo es salir adelante en la vida y que esta maestría solamente sea un aprendizaje, esto es solo una pequeña prueba de cuatro semestres, en la que tuve que aprender muchas cosas como aprender a aprender, salí de mi zona de confort en sentido científico y también crecí como persona durante estos dos años. A mis compañeros les dedico el esfuerzo y las ganas de venir hasta este rinconcito de la Comarca Lagunera a estudiar, a veces a deshoras y fines de semana, pero son inversiones que algún día se nos devolverán con creces.

Quiero dedicar esta iniciativa del nopal a todos los que piensen que hay algo fuera de lugar o que en general, el hombre como especie, estamos permitiendo que el dinero y poder cambien a las personas, y no vemos a veces en realidad en donde nos encontramos. Yo quisiera que con proyectos como este del nopal forrajero, algunas personas fueran capaces de atreverse a cambiar los paradigmas de la producción de recursos naturales. A mi familia, mis amigos, investigadores, ambientalistas, artistas y buenas personas de mente libre.

Dedico este trabajo a los dioses por mandarme a este camino, y sobre todo a los chicos y chicas de la generación compartimos el sentimientos de realización personal y involucra el cursar una Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, en la que la diversidad de ideas, líneas de investigación y personalidades de cada uno me han hecho crecer como persona.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no podría haberse realizado sin la ayuda del equipo de trabajo de la UAAAN-UL, Posgrado en Producción Animal, el Dr. César A. Meza-Herrera, UACH-URUZA y Dr. Francisco Veliz-Deras, UAAAN UL, gracias por la supervisión y asesoramiento durante todas las etapas de la tesis. Al Dr. Leyva y Dr. Bustamante por permitirme cursar sus materias en la UAAAN-UL.

Agradezco al Dr. Arnoldo Flores-Hernández por creer en los recursos vegetales de zonas áridas, además de contar con la infraestructura para procesar el nopal forrajero de manera sencilla. Creo que este proyecto tiene una visión a gran escala y sus ideas materializadas son un sueño con mucho camino por delante.

A los dueños de los animales que fueron sujeto de estudio, por confiar en nuestras propuestas científicas, y por transmitirnos sus conocimientos tan básicos e importantes, ya que ellos son más expertos en su trabajo debido a la constancia de su esfuerzo.

A mis padres por animarme a estudiar, a mis amigos por respaldarme.

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por Omag Cano Villegas, Licenciado en Biología, título obtenido en la Facultad de Ciencias Biológicas, perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango generación 2007-2011. Los estudios de Maestría los realizó en el Programa en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas en URUZA-UACH, generación 2014-2015.

Participó en la publicación:

Castañeda-Gaytán, J. G., Castañeda-Gaytán, J. J., Cano-Villegas, O. & García-Vázquez, U. O. 2013. Distribución de *Xantusia extorris* en el estado de Coahuila, México, con aspectos de historia natural. *Acta Zoológica Mexicana*. Vol. 29, Abril,

Ha tenido participación en diversos eventos con los siguientes temas:

- Cartel “Dieta de la lagartija endémica *Xantusia extorris* en la Sierra de Jimulco” en el II Simposium de tópicos biológicos en el CIDIIR-IPN en Durango, Dgo. Febrero, 2012
- Expositor como parte de la Asociación Lagunera de Cactología (ASLAC) A.C. en el Segundo Congreso de Zonas Áridas organizado por la Universidad de Chapingo. Marzo, 2012
- Ponencia oral en el IV Congreso Mexicano de Ecología en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco con el tema “La rana toro (*L.catesbeiana*) como depredador exótico en el Cañón de Fernández, Durango”. Marzo, 2013
- Ponencia oral “The Bullfrog (Ranidae: *Lithobates catesbeiana*) as an exotic predator in State Park Cañón de Fernández, Durango, México” en Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists en Albuquerque, Nuevo Mexico. Julio, 2013
- Cartel “Algunas consideraciones para el uso del nopal forrajero” en el X Congreso REBIZA en la URUZA-UACH. Octubre, 2014
- Ponencia oral “Usos productivos del Mezquite *Prosopis sp.* en Bermejillo, Durango” en el VI Encuentro de jóvenes investigadores CIESLAG en ITSL en Torreón, Coahuila. Abril, 2015
- Cartel “Suplementación de glutamato y reactivación ovárica en cabras primaras durante la época de anestro estacional: Efecto sobre los niveles séricos de triyodotironina” en el XI Congreso REBIZA en la URUZA-UACH. Octubre, 2015.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
TABLA DE CONTENIDOS	viii
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO	4
2.1 Hipótesis	4
2.2 Objetivo	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Importancia de la producción caprina en México	5
3.2 Estacionalidad reproductiva de la cabra	6
3.3 El estado nutricional y su relación con la reproducción	7
3.4 Protocolo Verde, Limpio y Ético	9
3.5 Suplementación dirigida o focalizada	11

3.6 Efecto <i>Opuntia</i>	12
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	15
4.1 General	15
4.2 Ubicación, condiciones ambientales y cuidado de los animales	15
4.3 Animales y grupos experimentales	16
4.4 Suplementos Experimentales	17
4.5 Efecto macho	18
4.6 Evaluación ecográfica de la función y estructuras del ovario	19
4.7 Conteo de partos y abortos	20
4.8 Análisis estadístico	21
V. RESULTADOS	23
5.1 Peso y Condición Corporal	23
5.2 Actividad ovárica	23
VI. DISCUSIÓN	26
VII. CONCLUSIÓN	31
VIII. RECOMENDACIONES	32
IX. LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

No.	Título	Pág.
1	Composición química media (SD), base-seca, de cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck tanto enriquecidos en nivel proteico (OEP), como no enriquecidos (ONE) y ofrecidos como suplemento.	18
2	Medias mínimas de cuadrados del a peso vivo (kg), condición corporal (unidades), parámetros reproductivos y ováricos de cabras adultas (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) suplementadas con cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm- Dyck naturales (ONE) o enriquecidos en proteínas (OEP), así como el grupo control sin suplemento (GC). Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona bajo fotoperiodo natural (mayo-junio; anestro estacional) en condiciones de pastizal semiárido-subtropicales en el norte de México (26° LN)	25

FIGURAS

1	Diseño experimental de parámetros reproductivos y ováricos	21
2	Porcentaje de cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) que presentaron comportamiento estral a través del tiempo tras la exposición en un período de 10-d a machos tratados con testosterona en condiciones de fotoperiodo naturales (mayo-junio; anestro estacional) y pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (26° LN), suplementadas con cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm- Dyck naturales (ONE) o enriquecidos en proteínas (OEP), así como un grupo control sin suplemento (GC)	24
3	Esquema de los factores involucrados en la reproducción caprina	30

ABREVIATURAS

	Significado
PROGAN	Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola
SAGARPA	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
MS	Materia Seca
PC	Proteína Cruda
FND	Fibra Neutro Detergente
FAD	Fibra Ácido Detergente
CNF	Carbohidratos no Fibrosos
TND	Total de Nutrientes Digestibles
ENm	Energía Neta Metabolizable

Efecto de la suplementación de nopal enriquecido (*Opuntia megacantha*-Salm-Dyck) sobre el comportamiento reproductivo en cabras anéstricas expuestas al efecto macho bajo condiciones extensivas

Effect of supplementation of protein enriched *Opuntia megacantha* Salm-Dyck cladodes upon reproductive outcomes in anestrus goats exposed to the male effect under rangeland conditions

Omag Cano-Villegas¹, César A. Meza-Herrera²

RESUMEN

Se evaluó el posible efecto de la suplementación dirigida de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecido a el nivel proteico sobre la función ovárica y el desempeño reproductivo en cabras adultas bajo condiciones extensivas y expuestas al efecto macho. Las variables de respuesta fueron: porcentaje de estro (EST,%), la latencia estro (ESL, horas), tasa ovulatoria (TO, unidades), longitud del cuerpo lúteo mayor (LCL, mm), número de embriones (EBN, unidades), porcentaje de implantación embrionaria (EIP,%), porcentaje de abortos (ABOR,%) y porcentaje de partos (KIDD,%). A principios de mayo, cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo; n = 38, 25.6° N) fueron aleatoriamente divididas en tres grupos: 1). **Control (GC)**; n = 12; 41.3 ± 1.8 kg PV, 1.65 ± 0.05 unidades de CC y 2). **Opuntia No enriquecido (ONE)**; n = 14; 41.1 ± 1.75 kg PV, 1.57 ± 0.05 unidades CC; 6.44% PC, 1.88 Mcal EM kg⁻¹) y 3). **Opuntia enriquecido en proteína (OEP)**; n = 12; 39.9 ± 1.7 kg PV, 1.60 ± 0.05 unidades de CC; 29.8% de PC y 2.27 Mcal ME kg⁻¹). Las cabras ONE y OEP fueron individualmente suplementadas con cladodios molidos y secados (160 g d⁻¹). OEP fue enriquecido en un biorreactor de fermentación (1% de *Saccharomyces cerevisiae*, + 1% de urea + 0.1% de sulfato de amonio). Las cabras fueron suplementadas (0900 a 1000 h) durante un período de adaptación de 10-d. Posteriormente los tres grupos pastorearon juntos durante el día, y fueron separados por la noche. Los grupos ONE y OEP continuaron el esquema de suplementación durante 10-d pre y 20-d después del período de monta (10+10+20). En el día 11, todos los grupos en condiciones de encierro controlado fueron expuestos (1900-0900 h) a la presencia de machos adultos tratados con testosterona tratado (Alpino-Saanen, dos / grupo) con libido y la fertilidad probadas previamente. Al inicio del período de monta tanto PV (P>0.05) o CC (P> 0.05) no difirieron entre tratamientos. Asimismo, ninguna de las variables ováricas evaluadas difirieron (P>0.05); EST = 89.66%, ESL = 53.66 h, OP = 70.33%, OR = 1.07 unidades, LCL = 109 mm, la EBN = 0.94 embriones y EIP = 48.66%. De igual forma, ni PV (41.54 ± 1.75 kg), ni BCS (1.46 ± 0.10 unidades) difirieron (P>0.05) al finalizar el período de suplementación. A pesar del tan interesante comportamiento ovárico fuera de época reproductiva, la tasa de ABOR fue alta (60.7 ± 15.2%), mientras que la tasa de KIDD fue baja 39.3 ± 12.5%, independientemente del tratamiento (P>0.05). Por lo tanto, además de la suplementación dirigida en el empadre, el último tercio de la gestación debe coincidir con las mejores condiciones ambientales de pastoreo o alimentación para incrementar los rendimientos reproductivos, la eficiencia económica y la sostenibilidad de los sistemas de producción extensivos de cabra.

Palabras clave: cabras, efecto macho, *Opuntia*, eficiencia reproductiva, suplementación dirigida.

¹ Tesista, ² Director

ABSTRACT

The possible effect of targeted supplementation of protein enriched *Opuntia megacantha* Salm-Dyck cladodes upon ovarian function and reproductive outcomes in adult goats under rangeland conditions and exposed to the male effect was evaluated. Response variables included: estrus percentage (EST, %), estrus latency (ESL, hours), ovulation rate (OR, units), largest corpus luteum (LCL, mm), embryo number (EBN, units), embryo implantation percentage (EIP, %), abortion percentage (ABOR, %) and kidding percentage (KIDD, %). During early May, anestrus mix-breed adult goats (Alpine-Saanen-Nubian x Criollo; n=38, 25.6° N) were randomly divided to: 1). **Control (CC)**; n=12; 41.3±1.8 kg LW, 1.65±0.05 units BCS, 2). **Non-enriched Opuntia (NEO)**; n=14; 41.1±1.75 kg LW, 1.57±0.05 units BCS; 6.44 % CP, 1.88 Mcal ME kg⁻¹, and 3). **Protein-enriched Opuntia (PEO)**; n=12; 39.9±1.7 kg LW, 1.60±0.05 units BCS; 29.8% CP and 2.27 Mcal ME kg⁻¹). Both the NEO and PEO goats were individually supplemented with cladodes (160 g d⁻¹). PEO was enriched in a fermentation bioreactor (1% of *Saccharomyces cerevisiae*, + 1% urea + 0.1 % of ammonium sulphate). Goats were supplemented (0900 to 1000 h) during an adjustment period of 10-d. Then, all groups grazed together during the day, while separated accordingly at night. Both NEO and PEO groups continued the supplementation schedule during 10-d pre- & 20-d post-breeding (10+10+20). On d 11, all groups were exposed (1900-0900 h) under pen conditions to testosterone treated adult males (Alpine-Saanen, two/group) of proven libido and fertility. At the onset of breeding, neither LW (P>0.05) nor BCS (P>0.05) differed among treatments. Also, none of the evaluated ovarian variables differed (P>0.05) among treatments; EST = 89.66%, ESL = 53.66 h, OR = 1.07 units, LCL = 1.09 mm, EBN = 0.94 embryos and EIP = 48.66%. Neither LW (41.54±1.75 kg) nor BCS (1.46±0.10 units) differed at the end supplementation. Despite such interesting out-of-season ovarian performance, ABOR was high (60.7±15.2%) while KIDD was low 39.3±12.5%, irrespective of treatment (P>0.05). Hence, besides peri-breeding targeted supplementation, the last third of gestation must be aligned to the best possible environmental-grazing or food supplemental conditions to escalate reproductive outcomes, economic efficiency as well as sustainability in rangeland goat production systems.

Key words: goats, male effect, *Opuntia*, reproductive efficiency, targeted supplementation.

I. INTRODUCCIÓN

Un escenario recurrente observado en sistemas de producción animal bajo condiciones de pastoreo, es la falta de un suministro continuo de recursos alimenticios, lo cual limita su eficiencia productiva (Ben Salem y Nefzaoui, 2003; González-Bulnes *et al.*, 2011), aunque dichos escenarios se transforman en oportunidades para mejorar las posibilidades de desarrollo por parte de los caprinocultores de las regiones áridas de México. La cría y producción de cabras es una actividad principalmente de tipo familiar y la mayoría de las unidades productivas se conforman de pequeños rebaños manejados directamente por un pastor o una familia, quienes realizan todas las actividades de manejo. En términos generales estas unidades son marginadas, escasas en infraestructura y sus niveles de productividad son bajos. En México los sistemas de producción de carne y leche de cabras han sido una forma tradicional en el uso de los recursos naturales de baja productividad, como son los agostaderos de las regiones áridas y semi-áridas (Escareño *et al.*, 2011). Hay experiencias en la Comarca Lagunera y el Bajío en donde la ganadería caprina tradicional se ha transformado en una importante actividad bien integrada con buenos indicadores productivos y económicos (FIRA, 1999). En la Comarca Lagunera, la venta de leche y en segundo lugar el cabrito, representan los principales productos del sistema de producción en cuanto al ingreso que ellos generan.

En condiciones naturales, particularmente en latitudes norte, la reproducción de las cabras es estacional iniciando al final del verano continuando durante todo el otoño hasta mediados del invierno, lo cual les permite tener un parto al año, desde fines de invierno hasta fines del verano y un reposo sexual-reproductivo de marzo a junio, hasta la próxima temporada de empadre. Dicho esquema reproductivo estacional es un reto fisiológico-

ambiental que enfrentan los caprinocultores y la industria del cabrito y la leche, que exige el ampliar la temporada de servicios durante un período más amplio de tiempo en el año y distribuir partos y lactancias en un formato más homogéneo al través del año. En el mismo sentido, muchos de los apoyos gubernamentales son enfocados solo en aquellos animales que se encuentran activos desde un punto de vista reproductivo (PROGAN, 2015).

En los sistemas de producción extensivos existe una limitante económica para recurrir a suplementos alimenticios y pastura de alta calidad como alternativas productivas sustentables (Ben Salem y Smith, 2008). Una opción viable para nutrir al ganado caprino bajo condiciones marginales de pastoreo es el nopal sin espinas (*Opuntia megacantha*-Salm Dyck). A la vez que este recurso alimenticio es utilizado comúnmente como forraje emergente en período de sequía (Ben Salem y Smith, 2008), a nivel global, en los sistemas productivos bajo condiciones áridas y semiáridas, existe una notable abundancia de nopal (*Opuntia spp.*) (Galati *et al.*, 2003; Ben Salem y Smith, 2008; El-Mostafa *et al.*, 2014). En México el nopal representa un valioso recurso natural para los sistemas de producción animal bajo condiciones marginales desfavorables del agostadero. En éstas cactáceas, el metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) permite su crecimiento bajo condiciones de estrés ambiental, sin embargo, muestra dos características notables presentes en biotipos áridos: a) la capacidad de retener un alto contenido de agua, de 800-900 g kg⁻¹, y b) energía, hasta 700 g kg⁻¹ de carbohidratos base seca (Nefzaoui y Ben Salem, 2002; Stinzing y Carle, 2005). De manera interesante, con el enriquecimiento proteico de cladodios de nopal (*Opuntia spp.*), se ha demostrado que es posible aumentar su contenido de proteína cruda de 4% hasta 30% al través del bioproceso de fermentación semisólida (Elias *et al.*, 1990; Ariosvaldo *et al.*, 2004; Díaz-Plasencia *et al.*, 2012; Flores-Hernández *et al.*, 2007). Tal

escenario ofrece la oportunidad de desarrollar estrategias accesibles para hacer un uso mejor y más eficiente de los recursos alimenticios locales para alimentar al ganado (Ben Salem *et al.*, 2005; Devendra, 2014). En el mismo sentido, lo anterior se puede potenciar mediante el uso de tecnologías de manejo reproductivo (Martin *et al.*, 1986; Gelez y Fabre-Nys, 2004). En efecto, algunas técnicas de manejo que involucran señales socio-sexuales, como el efecto macho (Angel García *et al.*, 2015a, 2015b; Luna-Orozco *et al.*, 2012) pueden combinarse con una suplementación a corto plazo con el objetivo de mantener las funciones reproductivas (Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012). El presente estudio evaluó los posibles efectos de la suplementación dirigida de cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck), con enriquecimiento proteico y exposición al efecto macho, sobre algunas variables reproductivas en ganado caprino bajo condiciones de pastoreo marginales.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

2.1 Hipótesis

La suplementación dirigida de cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck enriquecidos en contenido proteico reactiva y potencia la función ovárica a la vez de mejorar el desempeño reproductivo en cabras adultas manejadas en condiciones de pastoreo pastoreo marginales y expuestas al efecto macho en temporada de anestro estacional.

2.2 Objetivo

Evaluar los posibles efectos de la suplementación dirigida con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck enriquecidos en contenido proteico o no enriquecidos con respecto a un grupo control sobre la función ovárica y el comportamiento reproductivo en cabras manejadas en un sistema extensivo marginal y expuestas al efecto macho.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Importancia de la producción caprina en México

La cabra probablemente fue de los primeros rumiantes en ser domesticados hace más de 10,000 años en la antigua Mesopotamia, diseminándose a otras partes del mundo debido a su importante papel en la agricultura, la economía y la cultura desde la revolución agrícola del período Neolítico (Dong *et al.*, 2015), y ha sido una de las especies más útiles al hombre, sobre todo como proveedora de carne, leche y fibras (Mellado, 1997). Durante el siglo pasado, en el periodo de las grandes guerras y los periodos de posguerra, la crianza de caprinos se incrementó en diversos países con objeto de aminorar la escasez de leche. Sin embargo, durante los últimos años, su importancia como especie doméstica con gran potencial productivo y reproductivo ha sido disminuida, a pesar de su alto potencial en la generación de productos de calidad con características organolépticas bien definidas (Aréchiga *et al.*, 2008).

Los caprinos fueron introducidos en México por los españoles. Probablemente la mayoría de los animales fueron embarcados en las Islas Canarias, aunque los estudios genotípicos y fenotípicos indican una mayor influencia Navarra y Andaluza de las cabras originarias que llegaron a México, habiéndose adaptado desde entonces a las diversas condiciones de gran parte del territorio nacional (Mayén, 1989). Según estimaciones del Sistema de Información Agrícola y Pesquera de la SAGARPA, en México el 87% de las cabras se ubican en el área rural, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, generando anualmente 163.6 millones de litros de leche. Dentro de los estados productores de leche caprina destacan Coahuila, con el 37.2% del total nacional, Durango 21%,

Guanajuato 16.8%, Nuevo León 9.9%, Jalisco 3.7% y Zacatecas 3.2 % (SIAP, 2012). Aunque las cabras contribuyen relativamente poco a la producción mundial de leche y carne con menos del 2% (FAO, 2011), dicha participación es importante desde el punto de vista social, ya que representan un medio de ingreso y fuente de alimentos para numerosas familias campesinas, particularmente en las regiones áridas y semi-áridas del norte de México (Guerrero, 2010). En la mayor parte de los Estados de México predominan los sistemas extensivos y semi-intensivos de producción caprina, quedando relegada la producción intensiva a regiones como La Laguna y el Bajío (Salinas, 1993; Echavarría *et al.*, 1999; Meza-Herrera *et al.*, 2010a) .

3.2 Estacionalidad reproductiva en la cabra

Con objeto de asegurar la supervivencia cuando los recursos alimenticios en el entorno ambiental son escasos, diversas especies animales limitan su función reproductiva natural de forma estacional. Esta estacionalidad parece ser estable año tras año, con un marcado inicio y término del periodo estacional tanto en la ovulación para hembras como en la calidad y cantidad de producción de semen en machos (Paul *et al.*, 2008). Esta precisa programación se debe a diversos y complejos mecanismos alineando la activación de factores sexuales con los factores del ambiente externo. Estas adaptaciones son moduladas principalmente por el fotoperiodo, induciendo alteraciones en las secreciones de melatonina por parte de la glándula pineal hacia el hipotálamo, el centro regulador hormonal del cuerpo (Moffatt-Blue *et al.*, 2006). En efecto, el fotoperiodo es una de las señales más importantes para la regulación anual para estimular o inhibir la actividad reproductiva, involucrándose también en el crecimiento de algunos mamíferos (Gazal *et al.*, 2002).

Las cabras son reproductores estacionales que re-inician su actividad reproductiva cuando el fotoperiodo es decreciente durante el otoño y el invierno. La acción que el fotoperiodo ejerce sobre la actividad reproductiva es significativamente modulada por la latitud. Los animales ubicados en zonas cercanas al ecuador, donde la diferencia del fotoperiodo es apenas perceptible, son capaces de expresar los ciclos estrales durante todo el año. Sin embargo, en las regiones situadas por encima de los trópicos, donde una diferencia en el número de horas luz por día entre días cortos y días largos es más evidente, las cabras presentan dicha estacionalidad reproductiva (Urrutia *et al.*, 2009).

Aunque en los trópicos el fenómeno de la estacionalidad reproductiva no está bien definido, existe cierta tendencia en la cabra a presentar mayor actividad reproductiva en ciertos periodos del año, cuando las condiciones del medio ambiente son más favorables para el mantenimiento de la gestación y la crianza de sus crías (Meza-Herrera *et al.*, 2014b). La mayoría de las razas caprinas y ovinas originarias del norte de Europa muestran variaciones importantes respecto a la presencia de estro y ovulación. De hecho las hembras de estas razas presentan actividad sexual desde agosto-septiembre hasta enero-febrero y un reposo sexual el resto del año (González-Bulnes *et al.*, 2011). Una buena parte de los hatos de cabras en el norte de México tienen su período de pariciones durante el verano, lo que implica que durante el periodo de monta y la gestación las cabras pasen por un período de subalimentación durante el invierno.

3.3 El estado nutricional y su relación con la reproducción

En rumiantes, la nutrición es uno de los aportes exógenos que puede afectar la función reproductiva a diferentes niveles del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HHG). Sin

embargo, los mecanismos exactos o incluso la identificación de compuestos metabólicos que actúan como señales mediante las cuales la nutrición afecta, necesitan ser clarificados en el futuro (Meza-Herrera *et al.*, 2007). Se sabe que la restricción nutricional causa crecimiento lento, reduce las concentraciones periféricas de glucosa y retarda el inicio de pulsos de GnRH (Hormona Reguladora de Gonadotropinas) en caprinos (Meza-Herrera *et al.*, 2010a; Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012). A la par, el estado nutricional está estrechamente relacionado con la función del eje HHG (Hipófisis– Hipotálamo– Gónadas). Por lo tanto, existe una relación clara entre el balance de energía, la cantidad de combustible metabólico como glucosa, piruvato o lactato y la eficiencia reproductiva. La función cíclica o estacional del eje HHG es modulada mediante entradas neuronales, también influenciadas por vías ambientales, que en última instancia modulan la actividad neuronal en el hipotálamo para promover la liberación de GnRH, y que también tienen un impacto en la homeostasis energética (Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012). Como marcadores del estado nutricional, algunas hormonas pueden actuar sobre el Sistema Nervioso Central (SNC) para iniciar el proceso complejo de la pubertad y para mantener una función reproductiva normal en la etapa adulta. En el cerebro, estas hormonas pueden actuar como una conexión que indica al sistema reproductor el nivel de reservas metabólicas con objeto de regular las necesidades de energía para una función reproductiva normal (Budak *et al.*, 2006; Meza-Herrera *et al.*, 2014b).

En forma práctica el peso y condición corporal son indicadores útiles del estatus nutricional de los animales, y de su fertilidad después del parto. Aunque la determinación de la condición corporal es subjetiva, y por lo mismo puede ser imprecisa, esta medida es un indicador funcional y efectivo para el manejo alimenticio y reproductivo de las cabras.

Para una óptima reproducción, es deseable una condición corporal entre 2 y 3 al momento del empadre en una escala de 1 a 5 (Mellado, 2008). Por lo anterior, es conveniente revisar la condición corporal de las cabras a los 30 días antes del periodo de monta, y si ésta es inferior a 2 entonces se debe pensar en la suplementación alimenticia. Una de las consecuencias del consumo inadecuado de energía es la inhibición de la función ovárica, mediante ciertos metabolitos, como colesterol, glucosa y aminoácidos (Meza-Herrera *et al.*, 2011b, 2014c), además de algunas hormonas como la hormona luteinizante (LH) (Meza-Herrera *et al.*, 2007, 2013b); triyodotironina (Meza-Herrera *et al.*, 2011b, 2014d), insulina (Meza-Herrera *et al.*, 2011a, 2013a) y factor de crecimiento insulínico (IGF) (Pinos y Sánchez, 2001; Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012).

3.4 Protocolo Verde, Limpio y Ético

La aplicación de protocolos simples y de bajo costo para modular la actividad reproductiva de cabras y ovejas que presentan estacionalidad o actividad reducida es de suma importancia, particularmente para productores que trabajan bajo condiciones ambientales desfavorables y marginales. Ciertamente, el efecto macho parece estar modulado por el nivel nutricional de machos y/o hembras. De acuerdo con (Flores-Nájera *et al.*, 2010 y Meza-Herrera *et al.*, 2014a), una suplementación alimenticia puede incrementar la respuesta ovárica al efecto macho. En casos donde se busca ofrecer alternativas para la estacionalidad en la producción de crías se han propuesto una serie de protocolos que ponen en práctica técnicas de sincronización e inducción al estro puesto que en conjunto los tratamientos hormonales con las señales socio-sexuales pueden efectivamente inducir mediante señales cognitivas la actividad estral fértil en cabras (Angel-García *et al.*, 2015a, b). Existen reportes en que tanto hembras estrogenizadas como

machos tratados con testosterona fueron capaces de inducir el comportamiento reproductivo, lo cual denota un efecto hembra-hembras y macho-hembra (Carrillo *et al.*, 2014; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2013). Para el caso de efecto macho durante dos días en temporada de anestro provocó una respuesta estral positiva en 86.6 % de los casos. Derivado de la monta se obtuvo una tasa de preñez de 83 % (Angel-García *et al.*, 2015a).

De acuerdo con Véliz *et al.* (2009) cuando las cabras son inducidas con una señal de inicio con progesterona previo a la introducción de un macho, generalmente presentan un estro “compacto”. Algunos autores han documentado que inmediatamente después de la introducción de los machos, la pulsatilidad de LH incrementa, lo cual provoca un incremento en estradiol plasmático y una oleada de LH preovulatoria, resultando en una ovulación inducida 2-4 días después del estímulo del macho (Chemineau *et al.*, 2006). Aun así, la mayoría de las cabras presentan un ciclo ovárico corto de 5-7 días de duración, seguido por una segunda ovulación, que se asocia al comportamiento estral y una fase lútea normal (Chemineau *et al.*, 1987; Mellado *et al.*, 2014). El ciclo ovárico corto seguido de la exposición al macho parece estar relacionada con una baja secreción de progesterona proveniente del cuerpo lúteo, baja calidad de las células de granulosa derivado de folículos de calidad pobre que son forzados a ovular (Chemineau *et al.*, 2006). El estro que acompaña la segunda ovulación después de la estimulación socio-sexual que es seguido de una fase lútea normal indica que el sistema hipotálamo-pituitaria requiere una señal de inicio mediante secreción de progesterona luego de la primera ovulación (Lassoued *et al.*, 1995; Gonzales-Bulnes *et al.*, 2006). En caso de que se desee suprimir el ciclo lúteo corto, una inyección de progesterona puede estimular la emergencia de una nueva oleada folicular

que podría resultar en una ovulación adecuada después de la introducción de un macho (Gonzales-Bulnes *et al.*, 2006).

3.5 Suplementación dirigida o focalizada

Además de su elevada capacidad para modular los sistemas hormonales, las señales nutricionales también son reguladoras directas de la reproducción estacional. Por lo tanto, el suministro nutricional se considera una alternativa a los tratamientos hormonales con el fin de aumentar la eficiencia reproductiva y mejorar los resultados en la producción (De Santiago-Miramontes *et al.*, 2011). Los efectos positivos de la nutrición sobre los rendimientos reproductivos se obtienen generalmente a través de aumentos en el peso corporal. A largo plazo el "*efecto estático*" promueve que las hembras con más peso corporal tengan mayores tasas de ovulación, mientras que a mediano plazo, el "*efecto dinámico*" origina aumentos en el peso vivo (PV) o condición corporal (CC) en semanas previas y durante el empadre promoviendo mayor eficiencia ovárica, mediante una elevada alimentación durante 3-4 semanas antes del apareamiento. Sin embargo, la eficiencia reproductiva también puede ser mejorada por medio de la administración de suplementos nutricionales en un periodo muy corto de tiempo, es decir, menos de 10 días, sin observar cambios en el PV. Este fenómeno se conoce como "*efecto agudo*", "*alimentación focalizada*" o "*suplementación de precisión*". Dicha estrategia nutricional consiste en una suplementación durante 4-6 días cercanos al momento del desarrollo del folículo preovulatorio, lo que aumenta la tasa de ovulación en un 20-30%, sin cambios detectables ya sea en el PV y(o) CC (Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012).

Una suplementación por cabra de 50 a 100 g*d⁻¹ día de una fuente proteica es recomendada cuando se tiene una disponibilidad de forraje limitada en el agostadero y se hace necesario agregar al suplemento alimenticio granos de cereales, con el objeto de proveer energía adicional a las cabras (Mellado, 2008). La ingestión de nutrientes durante la preñez debe ser suficiente para mantener o promover un ligero aumento de peso de las cabras. La pérdida de PV de las cabras durante la preñez, trae como consecuencia una proporción elevada de abortos (Mellado *et al.*, 2001; Meza-Herrera *et al.*, 2006). Durante la preñez se debe procurar reducir la distancia recorrida por las cabras en el agostadero, pues esto, aparte de incrementar el estrés en las cabras, implica un gasto adicional de energía en la cosecha del alimento de las cabras (Mellado, 2008).

En años recientes se han publicado diversos estudios con cabras y ovejas en que se utilizan técnicas de suplementación con productos que tienen roles importantes en las rutas metabólicas activadoras de la función sexual como proteína no degradable en rumen, glutamato y beta-caroteno (Meza-Herrera *et al.*, 2006; 2011a,b; 2013a , 2013b; 2014a,c,d) para diferentes momentos del ciclo reproductivo para valorar el desempeño reproductivo tanto en condiciones de época reproductiva como en anestro. En temporada reproductiva se evaluó la tasa ovulatoria en cabras suplementadas con beta-caroteno (BC), siendo la tasa ovulatoria mayor para el tratamiento BC al igual que el número de folículos antrales (Meza-Herrera *et al.*, 2013b). En otro estudio, la actividad ovárica total (AOT = folículos + cuerpos lúteos) fue mayor en cabras suplementadas con betacaroteno que el grupo testigo (Meza-Herrera *et al.*, 2013a). De igual manera, se obtuvo mayor tasa ovulatoria y número de folículos antrales en cabras suplementadas a corto plazo con glutamato (Meza-Herrera *et al.*, 2014a).

3.6 Efecto *Opuntia*

El efecto inmediato o agudo de una suplementación altamente proteica y energética sobre la función ovárica conocido primeramente como el “efecto lupino”, ya que fue descrito inicialmente tras la suplementación con granos de lupino (*Lupinus angustifolius*), un forraje con alto contenido proteico. Esencialmente dicha suplementación por 4-6 días durante el tiempo en que se desarrollan los folículos preovulatorios puede incrementar la tasa ovulatoria en un 20-30%; posiblemente este fenómeno se deba a la cantidad de energía digerible que provee y a un incremento de los niveles insulina y glucosa (Rekik *et al.*, 2012). El incremento de ingesta energética y glucosa disponible pudieran estar asociadas con una mayor actividad ovárica y desarrollo folicular (Mellado *et al.*, 2008; Meza-Herrera y Tena Sampere, 2012).

El efecto lupino es una estrategia interesante de suplementación, sin embargo, este recurso no está disponible en todo el mundo. Estudios previos han demostrado que la administración de suplementos a base de nopal, el llamado "efecto *Opuntia*", ejercen un efecto positivo sobre los resultados reproductivos en ganado ovino (Rekik *et al.*, 2010). De hecho, la suplementación con *Opuntia* pudo afectar positivamente la reanudación de la actividad reproductiva postparto en ovejas (Rekik *et al.*, 2010), y de forma similar aumentó la tasa de fecundidad en ovejas durante la temporada de anestro (Sakly *et al.*, 2012). Otras investigaciones reportan que la suplementación con nopal puede tener un efecto positivo sobre el crecimiento y la competencia de desarrollo de los folículos pre-ovulatorios (Rekik *et al.*, 2012; Sakly *et al.*, 2014) así como la tasa de ovulación (Rekik *et al.*, 2012).

Los cactus o pencas de nopal se han utilizado comúnmente como forraje durante las temporadas seca y de invierno en diferentes regiones áridas y semiáridas del mundo ya que son considerados como una fuente natural de almacenamiento de agua, lo cual denota sus características importantes como alimento alternativo para la producción animal. Los nopales (*Opuntia spp.*) tienen una composición rica en polifenoles, vitaminas, ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos, mientras que sus extractos representan actividades biológicamente relevantes, tales como propiedades anti-inflamatorias, antioxidante, hipoglucémica, antimicrobiana y neuroprotectora (El-Mostafa *et al.*, 2014), no obstante, se caracterizan por su muy reducido contenido en proteínas (Akanni *et al.*, 2015). El género *Opuntia* también se ha definido como un cultivo muy eficiente respecto al consumo de agua, con rendimientos superiores a 20 ton ha⁻¹, mientras que su labranza requiere bajos insumos agronómicos (Orona *et al.*, 2000; Flores *et al.*, 2007). Por otro lado, la levadura de cerveza (*S. cerevisiae*) es una fuente proteica alternativa que puede utilizarse en la ración de cabras lactantes (Soares de Lima *et al.*, 2012) y crías de cabra (Rufino *et al.*, 2012; Soares de Lima *et al.*, 2011) y que mantiene el desempeño productivo de los animales. Mediante la fermentación semi-sólida de cladodios de nopal ha sido posible la obtención de un producto nutritivo con alto contenido proteico (20 – 30% PC) que además tiene altos rendimientos agronómicos (Flores *et al.*, 2007).

En perspectiva, se prevé una situación complicada, en la que el continuo aumento en precio de concentrados y utilización incrementada no sólo de cereales, sino de otros productos celulósicos en la industria de biocombustibles conspiran contra la sostenibilidad del sector productivo más vulnerable, tanto desde el punto de vista biológico como económico (Devendra, 2014;. Mullins *et al.*, 2014;. Ren *et al.*, 2014). Por lo tanto, el nopal

(*Opuntia spp.*) puede ser considerado como una fuente alternativa de alimento interesante y potencialmente significativa para sistemas marginales de producción animal.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 General

Todos los procedimientos y métodos utilizados en relación al uso y cuidado de los animales se llevaron a cabo de acuerdo con la normatividad internacional (FASS, 2010) y nacional (NOM, 2002) respecto a las directrices para el uso ético y el bienestar animal.

4.2 Ubicación, condiciones ambientales y cuidado de los animales

El estudio se llevó a cabo en una granja comercial con manejo extensivo, pastoreo diurno con encierro nocturno, en el norte de México (26° 23' N y 103° 47' W) a 15 km al norte de Torreón, Coahuila, México. La elevación de la zona de estudio es 1,117 m sobre el nivel del mar. La temporada de lluvias se extiende de junio a octubre con una precipitación y temperatura media anual de 258 mm y 24° C, respectivamente. El tipo de vegetación es matorral desértico altamente degradado y se compone principalmente por gobernadora (*Larrea tridentata* (DC. Cov). Otras especies importantes son lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr), mezquite (*Prosopis glandulosa* v. *Glandulosa*) y navajita (*Bouteloua gracilis* Salvaje Ex Kunth Lag. Ex Griffiths). La carga animal es de aproximadamente de 1.5 ha*cabra⁻¹, valor superior a la capacidad de carga de este agostadero. La cosecha total

en pie en este entorno representa alrededor de 2000 kg MS*ha⁻¹, proporcionando la mayor parte de forraje disponible al animal (Mellado *et al.*, 2012). La humedad relativa varía de 26.14% a 60.69%, mientras que el fotoperiodo varía de 13 h 41 min durante el solsticio de verano (junio) a 10 h, 19 min en el solsticio de invierno (diciembre). En la mayor parte del tiempo las cabras se alimentaron principalmente de lo cosechado en el agostadero y eventualmente de residuos de cultivos importantes en el distrito de Riego de la Comarca Lagunera, principalmente de maíz, sorgo y algodón. Históricamente, estas tierras comunales han sido continuamente pastoreadas por grandes rebaños de cabras, bovinos y equinos, por lo tanto, las cabras pastan en pastizales deteriorados que muestran un bajo potencial de producción de forraje. Todas las unidades experimentales fueron llevadas a diferentes sitios de pastoreo diariamente con recorridos de aproximadamente 5 km del corral al agostadero; restricciones de pastoreo puede considerarse negligibles debido a que las cabras fueron llevadas diariamente a diferentes sitios (Gaytan *et al.*, 2015). Durante la temporada de primavera-verano, el pastoreo fue guiado por una persona durante 9 h (10:00-19:00 h) y por la noche las cabras permanecieron bajo encierro (19:00-10:00 h) donde tuvieron libre acceso al agua.

4.3 Animales y grupos experimentales

Cabras adultas de raza mixta (Alpina-Saanen-Nubian x Criollo; n=38) de conocida fertilidad, en anestro, no lactantes, no preñadas, se mantuvieron durante el día en pastoreo, aisladas de la vista, el sonido y el olor de los machos por lo menos tres meses antes del inicio del experimento. A partir de entonces, a principios de mayo, durante la temporada de anestro, las cabras fueron divididas aleatoriamente en tres grupos experimentales: 1) Control (GC; n = 12; 41.3 ± 1.8 kg PV [Peso Vivo], 1.65 ± 0,05 unidades CC [Condición

Corporal] base 4, sin suplementación de alimentación, 2) *Opuntia* No Enriquecido (ONE; n = 14; 41.1 ± 1.75 kg PV, 1.57 ± 0.05 unidades CC) y 3) *Opuntia* Enriquecido en Proteína (OEP; n = 12; 39.9 ± 17 kg de PV, 1.60 ± 0.05 unidades CC). Los tres grupos experimentales fueron tratados idénticamente y pastorearon en la misma ubicación previamente descrita. Todo el hato tuvo libre acceso a agua y una mezcla mineral comercial en la granja durante las horas de la tarde-noche. Las cabras no fueron tratadas contra los parásitos internos, ya que este no es un problema de salud común en virtud de este ambiente seco.

4.4 Suplementos experimentales

El grupo experimental OEP consideró cladodios de nopal (*Opuntia megacantha*) enriquecidos en nivel de proteína mediante un proceso fermentativo semisólido en el cual se inoculó levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0,1%) en un biorreactor (Nopafer- R, Lerdo Durango, México) durante un período de 10 h. Los cladodios fueron secados a temperatura ambiente durante 72 h (Flores *et al.*, 2007). La suplementación de los grupos OEP y ONE se realizó de 0900 a 1000 h antes de la actividad de pastoreo, el inicio de la suplementación consideró un lapso de 10 días de adaptación antes del inicio del empadre experimental. Se presenta la composición química de ambos tratamientos ONE y OEP en el Cuadro 1. Durante los 30 días posteriores al período de adaptación, se ofreció el suplemento experimental individualmente.

Tanto las cabras ONE y OEP fueron suplementadas individualmente con 160 g *d⁻¹ durante un período de adaptación de 10 días; el suplemento experimental fue ofrecido de 09:00 a 10:00 h diariamente. Dicha programación utilizada para ofrecer el suplemento tuvo

como base observaciones anteriores de que las cabras consumen todo el suplemento si se ofrece por la mañana. De acuerdo con Taweel *et al.* (2004), los rumiantes en pastoreo suelen ingerir mayor volumen de alimento durante al atardecer, lo cual denota una estrategia de forrajeo interesante ya que la materia seca de forraje y carbohidratos solubles en agua aumentan mientras la fibra neutra detergente disminuye a medida que el día avanza. Ciertamente, esta adaptación fisiológica circadiana permite la acumulación de tejido vegetal altamente digestible cerca de la noche, lo cual se explica principalmente con la fotosíntesis en las hojas, un escenario descriptivo de por qué los rumiantes prefieren ejercer su actividad de forrajeo durante la puesta del sol con respecto a la hora del amanecer (Fisher *et al.*, 2002). Los tres grupos experimentales se mantuvieron juntos durante el día en una zona de pastoreo con matorral semiárido, por la noche fueron separados.

Cuadro 1. Composición química media (SD), base-seca, de cladodios de *Opuntia megacantha Salm-Dyck* tanto enriquecidos en nivel proteico (OEP), como no enriquecidos (ONE) y ofrecidos como suplemento a cabras adultas de raza mixta (Alpine-Saanen-Nubian x Criollo) expuestas a machos tratados con testosterona y a un fotoperiodo natural de días largos (Mayo-Junio; época de anestro) bajo condiciones semiáridas-subtropicales de tierra de pastoreo en el norte de México (26° LN)

	ONE, fresco	ONE, seco	OEP, fresco	OEP, seco
MS, %	12.9	92.09	12.5	92.06
PC, %	6.44	4.9	29.8	20.56
FND, %	21.34	14.7	18.3	17.52
FAD, %	19.70	11.90	16.6	17.98
CNF, %	43.85	53.3	24.4	33.91

TND, %	53.15	61.0	57.2	56.41
ENm, Mcal/kg MS	1.88	2.31	2.27	2.21
Ceniza, %	27.99	24.7	25.5	26.78

ENm fue calculada mediante ecuaciones propuestas por el National Research Council (2007).

4.5 Efecto macho

Una vez finalizado el periodo de adaptación, todas las cabras de los tres tratamientos fueron expuestas a seis machos adultos (3 a 4 años de edad), de raza mixta (Alpina-Saanen, dos por tratamiento) sexualmente activos, con fertilidad y libido probadas. Los machos se mantuvieron en un corral (6 x 6 m) antes de la monta, con libre acceso a agua. Dos veces al día se les ofreció heno de alfalfa *ad libitum*. Tres semanas previo al contacto con las hembras, todos los machos recibieron una inyección intramuscular de testosterona (50 mg, tesosterone, Lab Brovel, DF, México) cada 3 días (Luna-Orozco *et al.*, 2012). Los machos permanecieron en las instalaciones de la granja; por lo tanto, estuvieron en contacto con las cabras solo desde 1900 a 0800 h todos los días bajo un esquema de empadre nocturno.

El periodo experimental de monta tuvo lugar a principios de junio y duró 10 días. Se registró diariamente el número de cabras con signos de comportamiento receptivo o copulación, dicho comportamiento fue definido como ocurrencia de comportamiento estral resultante del efecto macho. Las observaciones se registraron durante una hora, dos veces al día (0800 y 1900) a lo largo del empadre experimental (10 d). También se registró el intervalo entre la exposición del macho y el inicio del estro.

4.6 Evaluación ecográfica de la función y estructuras del ovario

Se practicó la técnica de escaneo transrectal (7.5-10 MHz) en tiempo real modo B de ultrasonido (Equipo Aloka SSD 500 Echo, Ultramar monitor Corp. Ltd., Japón) antes de la exposición de los machos (10 días antes de exposición al macho) a todas las cabras para confirmar el estado de anestro (US-1). Al día -8 fueron tratadas con una inyección intramuscular de progesterona (20 mg; Fort Dodge, DF, México) con el fin de reducir la ocurrencia de ciclos lúteos cortos (Veliz *et al.*, 2009).

El segundo ultrasonido se practicó los primeros seis días después de la introducción del macho para evaluar el momento de la ovulación (US-2) de acuerdo con los procedimientos descritos por Dickie *et al.* (1999). Los machos fueron retirados 10 días después del inicio del empadre. El tercer diagnóstico con ultrasonografía (US-3) se realizó el día 20 posterior a la introducción de los machos con el fin de evaluar el proceso de luteogénesis y determinar la tasa ovulatoria, medida como el número de cuerpos lúteos presentes en cada ovario. La cuantificación de la tasa ovulatoria consideró el medir el folículo con el diámetro máximo haciendo un seguimiento respecto a sus cambios morfológicos a partir del paso de tejido folicular a la formación de un cuerpo lúteo, o dicho de otra manera presencia de tejido luteal en el mismo sitio de ruptura del folículo. El cuerpo lúteo se identificó en la escala de grises como área hipoecóica dentro de cada ovario; el tamaño se calculó como la media de transversal, diámetros anteroposterior y sagitales. Al día 30 finalizó la suplementación de *Opuntia*.

Finalmente, se realizó el diagnóstico ultrasonográfico (US-4) para evaluar el proceso de implantación embrionaria en el endometrio al d-45, usualmente se utiliza un

transductor transabdominal (3.5 – 5 MHz) y en caso de duda se recurre a uno transrectal para confirmar el diagnóstico. Todas las pruebas de ecografía fueron practicadas siempre por el mismo operador experto (Figura 1).

4.7 Conteo de partos y abortos

Durante los meses de octubre y noviembre se registró el número de partos (KIDD, %) y abortos (ABOR, %) mediante registro diario.

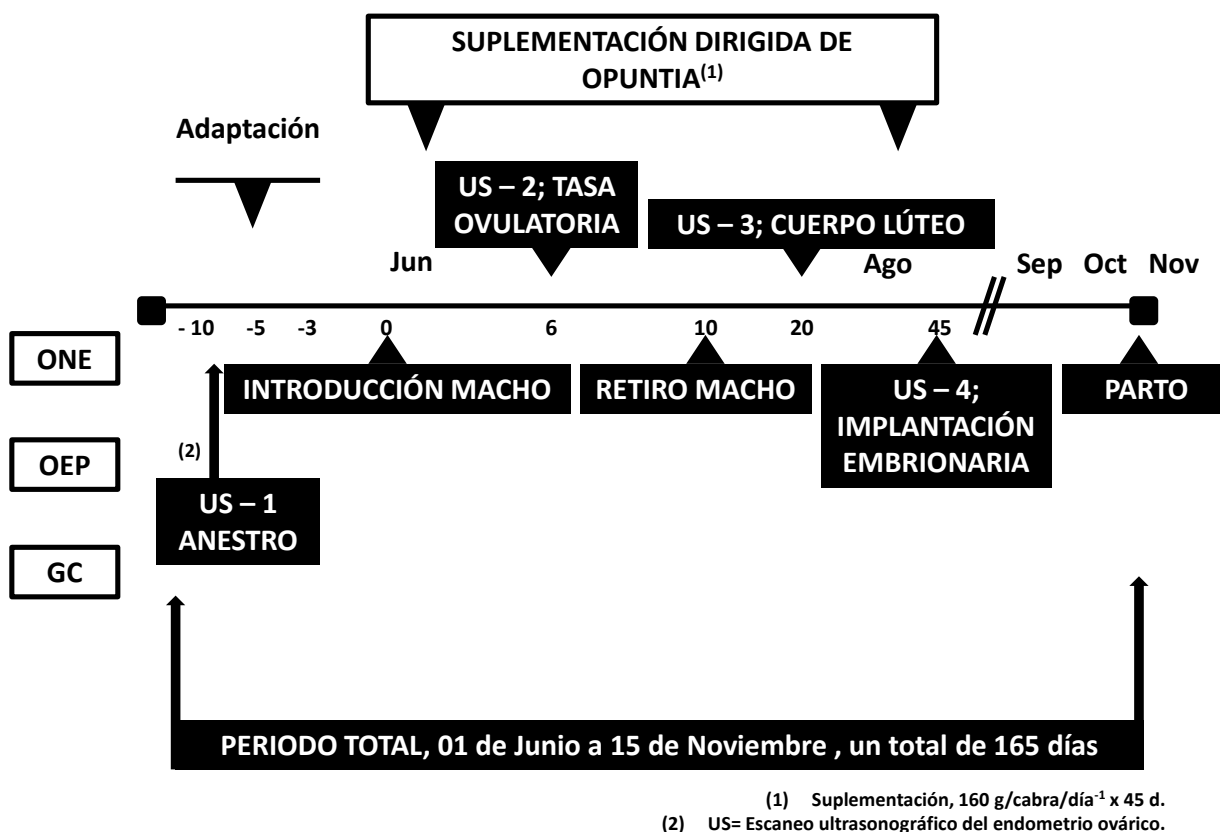


Figura 1. Diseño experimental de parámetros reproductivos y ováricos de cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) suplementadas con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck naturales (ONE) o enriquecidos en proteínas (OEP), así como un grupo control sin suplemento (GC). El US-1 se hizo los días -10, -5 y -3 para confirmar anestro, US-2 se hizo para evaluar ovulaciones, el US-3 se hizo para evaluar tasa ovulatoria y el US-4 se hizo para evaluar tasa de implantación embrionaria; Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones de fotoperíodo naturales

(mayo-junio; anestro estacional) en condiciones de pastizal semiárido-subtropicales en el norte de México (26° LN) ⁽¹⁾

4.8 Análisis estadístico

La función ovárica consideró las variables: ocurrencia de estro (EST,%), latencia al estro (ESL, horas), porcentaje de ovulación (OP,%), tasa ovulatoria (unidades) y longitud de cuerpo lúteo (LCL , mm) en la ovulación. De igual manera se consideró el número de embriones (EBN, unidades), porcentaje de implantación embrionaria (EIP, %), porcentaje de aborto (ABOR, %) y porcentaje de crías (KIDD, %). Una representación esquemática con las principales actividades realizadas durante el protocolo experimental, se presenta en la Figura 1.

Todos los análisis estadísticos se hicieron utilizando los procedimientos de SAS (SAS Inst Inc. V9.1 Cary, NC, EE.UU.); el nivel de significación se fijó en $P < 0,05$. Los datos de las variables EST, OP, EIP ABOR y KIDD se analizaron mediante procedimientos categóricos utilizando en el procedimiento GENMOD la función LOGIT. El único efecto incluido en el modelo fue el tratamiento de suplementación, con cada individuo como una sola unidad experimental. En caso de existir diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó el procedimiento LSMEAN / DIFF para comparar los valores medios. El Análisis de la varianza (PROC GLM) se utilizó para ESL y LCL. El procedimiento LSD protegido se utilizó para la comparación de medias. Para Condición corporal entre los tratamientos se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

V. RESULTADOS

5.1 Peso y Condición Corporal

Al inicio y fin del período de 45 días de suplementación no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para PV final (41.10, 39.96 y 41.30 \pm 1.80 kg en los grupos ONE OEP y GC respectivamente) ni CC (1.42 , 1.46 y 1.50 \pm 0.10) (Cuadro 2).

5.2 Actividad estral y dinámica ovulatoria

Un 89.6 % (36/41) del total de las cabras mostraron señales de estro durante el período experimental, sin observar diferencias ($P>0.05$) entre los grupos suplementados (ONE y OEP) y el grupo testigo. La actividad estral fue reportada más frecuentemente entre los días 2 y 3 después de la introducción del macho (Fig. 2); solamente un individuo del grupo control mostró comportamiento estral después al día 9.

Los valores promedio de longitud de cuerpo lúteo para los tres grupos experimentales fue 0.93 \pm 0.18 cm; la tasa ovulatoria promedio fue 1.07 \pm 0.24 unidades. El número promedio de embriones fue de 0.94 y la tasa de implantación 48.66 %. En general, no se presentó variación estadística de las variables reproductivas evaluadas ($P<0.05$) entre los tratamientos, la media para el valor del porcentaje de partos (KIDD) fue de 39, 5%, mientras que la tasa de abortos (ABOR) fue alta (60,5%), independientemente de los tratamientos experimentales ($P>0.05$). Un resumen de los datos relativos a PV, CC, EST, TO, ESL, ABOR, KIDD con los tratamientos experimentales se presentan en el Cuadro 2.

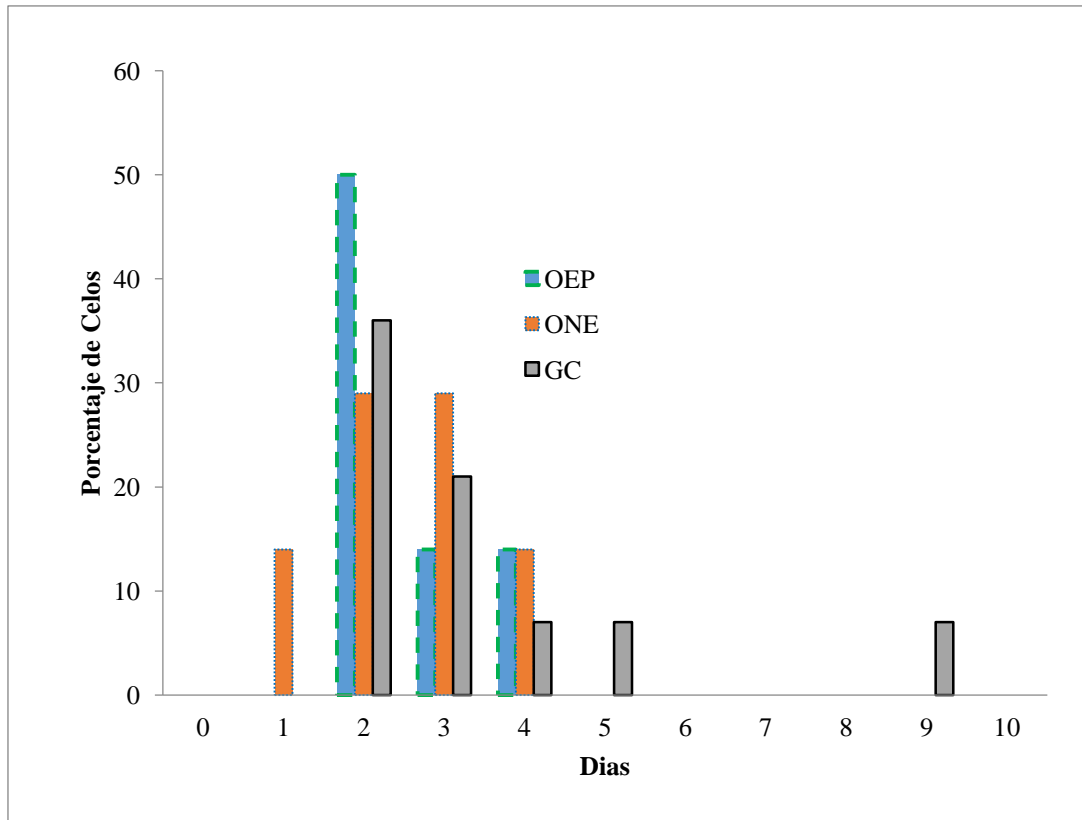


Figura 2. Porcentaje de cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) que presentaron comportamiento estral a través del tiempo tras la exposición en un período de 10-d a machos tratados con testosterona en condiciones de fotoperíodo naturales (mayo-junio; anestro estacional) y pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (26° LN), suplementadas con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck naturales (ONE) o enriquecidos en proteínas (OEP), así como un grupo control sin suplemento (GC).

Cuadro 2. Medias mínimas de cuadrados con respecto a peso vivo (PV), condición corporal (CC), parámetros reproductivos y ováricos de cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) suplementadas con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck naturales (ONE) o enriquecidos en proteínas (OEP), así como el grupo control sin suplemento (GC). Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones de fotoperíodo naturales (mayo-junio; anestro estacional) en condiciones de pastizal semiárido-subtropicales en el norte de México (26° LN) ⁽¹⁾

	ONE (n=14)	OEP (n=12)	GC (n=12)	D.E. ⁽²⁾
PV-inicial, kg	41.10 ^a	39.96 ^a	41.30 ^a	1.80
CC-inicial, unidades ⁽³⁾	1.57 ^a	1.60 ^a	1.65 ^a	0.05
PV-final, kg	41.00 ^a	42.85 ^a	40.76 ^a	1.73
CC-final, unidades	1.42 ^a	1.46 ^a	1.50 ^a	0.10
Estro, %	92.8 ^a	85.7 ^a	92.3 ^a	8.4
Latencia, h	47.12 ^a	48.00 ^a	66.46 ^a	10.07
Tasa ovulatoria, unidades	1.14 ^a	0.85 ^a	1.23 ^a	0.24
Cuerpo lúteo mayor, mm	88.9 ^a	99.8 ^a	90.3 ^a	18.1
Tasa de Implantación Embrionaria, %	36 ^a	34 ^a	54 ^a	12.4
Partos, %	28.5 ^a	35.7 ^a	53.8 ^a	12.5
Abortos, %	71.5 ^a	64.5 ^a	46.2 ^a	15.2

(1) No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos respecto a la respuesta ocurrida en las variables ($P>0.05$). ⁽²⁾ Se presenta el error estándar más conservativo. ⁽³⁾ Unidades CC base 4.

VI. DISCUSIÓN

La hipótesis planteada al inicio del presente estudio establecía que la suplementación focalizada de cladodios de *Opuntia megacantha* Salm- Dyck enriquecidos en contenido proteico reactivaría y potenciaría la función ovárica a la vez de mejorar el desempeño reproductivo en cabras adultas anéstricas manejadas en condiciones de pastoreo marginal y expuestas al efecto macho en temporada de anestro estacional. Debido a que no existieron diferencias estadísticas con respecto al porcentaje de cabras mostrando una reactivación de la función ovárica, la hipótesis planteada al inicio del experimento es rechazada. Sin embargo, se observó un efecto positivo del “efecto macho” entre las hembras de todos los grupos experimentales.

En el presente estudio se evaluó el “efecto *Opuntia*”, que consiste en una suplementación a corto plazo con nopal, en el cual se busca afectar positivamente en los parámetros reproductivos en ovejas y/o cabras durante la temporada de anestro; para compensar el bajo contenido proteico del nopal fresco, se sugiere adicionar soya (70 g) (Rekik *et al.*, 2012 y Sakly *et al.*, 2012). En el actual experimento se ofreció como suplemento exclusivamente nopal seco con y sin tratamiento de enriquecimiento proteico con levadura (*S. cerevisiae*) para los grupos ONE y OEP respectivamente. Algunos autores mencionan que la levadura puede sustituir al 100% la soya como parte de la dieta en cabras, ya que permite que desempeñen adecuadamente sus funciones productivas (Rufino *et al.*, 2012; Soares de Lima *et al.*, 2011, 2012). Al finalizar el período de suplementación (grupos ONE y OEP) a corto plazo, los valores registrados para PV y CC no difirieron, en concordancia con lo sugerido por Meza-Herrera y Tena-Sampere (2012) como “efecto agudo”, el cual sostiene que no se espera un aumento de peso vivo o condición corporal.

Los resultados de la presente investigación indican que la técnica de exposición de hembras en temporada de anestro a machos tratados con testosterona puede ser una alternativa viable para inducir a la actividad reproductiva. Dicho estímulo socio-sexual es causado por las señales olfativas y auditivas que modulan las cascadas hormonales correspondientes a la activación de la función ovárica (Angel-Garcia *et al.*, 2015a,b; Rodriguez-Martinez *et al.*, 2013). En el presente estudio el “efecto macho” fue capaz de reactivar las cascadas foliculares y lúteas en la mayoría de hembras en los tres grupos (>85%) durante la temporada natural de anestro.

Debido a que la producción animal está alineada a la función reproductiva, se han realizado esfuerzos importantes para cuantificar cómo es que la función reproductiva puede ser modulada por aspectos genéticos, ambientales, nutricionales y socio-sexuales (Gonzalez-Bulnes *et al.*, 2011). De esta manera, la historia nutricional del individuo puede tener un rol muy importante en el desarrollo inicial de las gónadas durante las etapas tempranas de vida en cabras. La formación de los órganos sexuales durante este período determina en gran medida el potencial reproductivo en la vida adulta del animal (Meza-Herrera *et al.*, 2010a), el genotipo inicialmente puede tener influencia sobre el rendimiento (Meza-Herrera *et al.*, 2014b), sin embargo si un animal de alta calidad se encuentra bajo constante estrés nutricional o ambiental, es muy posible que su producción no sea la esperada.

Tanto en reportes anteriores de otros autores como en el presente experimento se han reportado proporciones similares en actividad estral superiores al 85 % para el “efecto macho” (Sakly, *et al.*, 2012; Angel-García *et al.*, 2015; Mellado *et al.*, 2014). Para el caso del presente estudio las horas de latencia al estro confirman que una aplicación de P4

previa a la introducción del macho, es capaz de suprimir los ciclos estrales cortos que ocurren tras la exposición a machos activos y mantener la ovulación correspondiente fértil (Veliz *et al.*, 2009; Chemineau *et al.*, 2006).

Los valores obtenidos para tasa ovulatoria del actual estudio fueron menores a los reportados en ambos trabajos referentes al “efecto *Opuntia*” (promedio de 1.07 para el presente trabajo vs. 1.4 en los estudios de Rekik *et al.* 2010, 2012 y Sakly *et al.*, 2012, 2014). De igual forma, en el estudio de Sakly *et al.* (2012) se logró obtener un 90% de parición durante la temporada de días largos mediante la suplementación con nopal y soya. En este caso, dicho efecto fisiológico no fue capaz de promover un incremento en la tasa de implantación embrionaria (48.6 %), además de presentarse una alta tasa de abortos. Al tratarse de animales que pastorean en zonas de escasa productividad, los valores de CC reportados se encuentran cercanos el límite inferior recomendable. (Mellado, 2008; De Santiago *et al.*, 2011 y Urrutia-Morales *et al.*, 2012).

La CC promedio de los tres grupos experimentales (1.46 ± 0.10 unidades, con base 4) puede ser un indicador de condiciones pobres del agostadero, lo cual puede ser una limitante para inducir un evento reproductivo exitoso, por ello la importancia de conjugar el efecto macho con una suplementación de alto contenido proteico durante la época de anestro natural para dichos animales. Un animal en estado metabólico inferior a lo deseado puede disminuir su desempeño reproductivo, debido ya sea por un balance energético negativo, capacidad de ingesta disminuida durante la gestación avanzada, o el recorrer la misma distancia de la granja a la zona de pastoreo durante el período gestacional, lo cual comprometería el balance energético y posiblemente aumentaría la tasa de abortos (Mellado, 2008; De Santiago *et al.*, 2011 y Urrutia-Morales *et al.*, 2012).

Existe información puntual que ha sido enfocada a tratar de comprender la modulación mediante manipulación nutricional suplementaria en la función del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal (Meza-Herrera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2014b), así como en la síntesis y liberación de ciertos metabolitos sanguíneos (Meza-Herrera *et al.*, 2014c) hormonas metabólicas (Meza-Herrera *et al.*, 2011a,b; 2013a; 2014d) y hormonas reproductivas (Arellano-Rodriguez *et al.*, 2009; Meza-Herrera *et al.*, 2013b). En el mismo sentido, diversos estudios han demostrado el efecto positivo del uso de efectos socio-sexuales en la modulación de la función reproductiva, particularmente en la época de anestro (Angel-Garcia *et al.*, 2015a, b; Orozco-Luna *et al.*, 2015; Carrillo *et al.*, 2014; Mellado *et al.*, 2014; Rodriguez-Martinez *et al.*, 2013). Las discrepancias entre los resultados obtenidos por los estudios antes mencionados pueden ser ocasionadas por factores ambientales como: especies animales, estado vegetativo del nopal, periodo y cantidad de suplemento, sistema productivo, prácticas de manejo, e incluso una pobre condición del agostadero, entre otros.

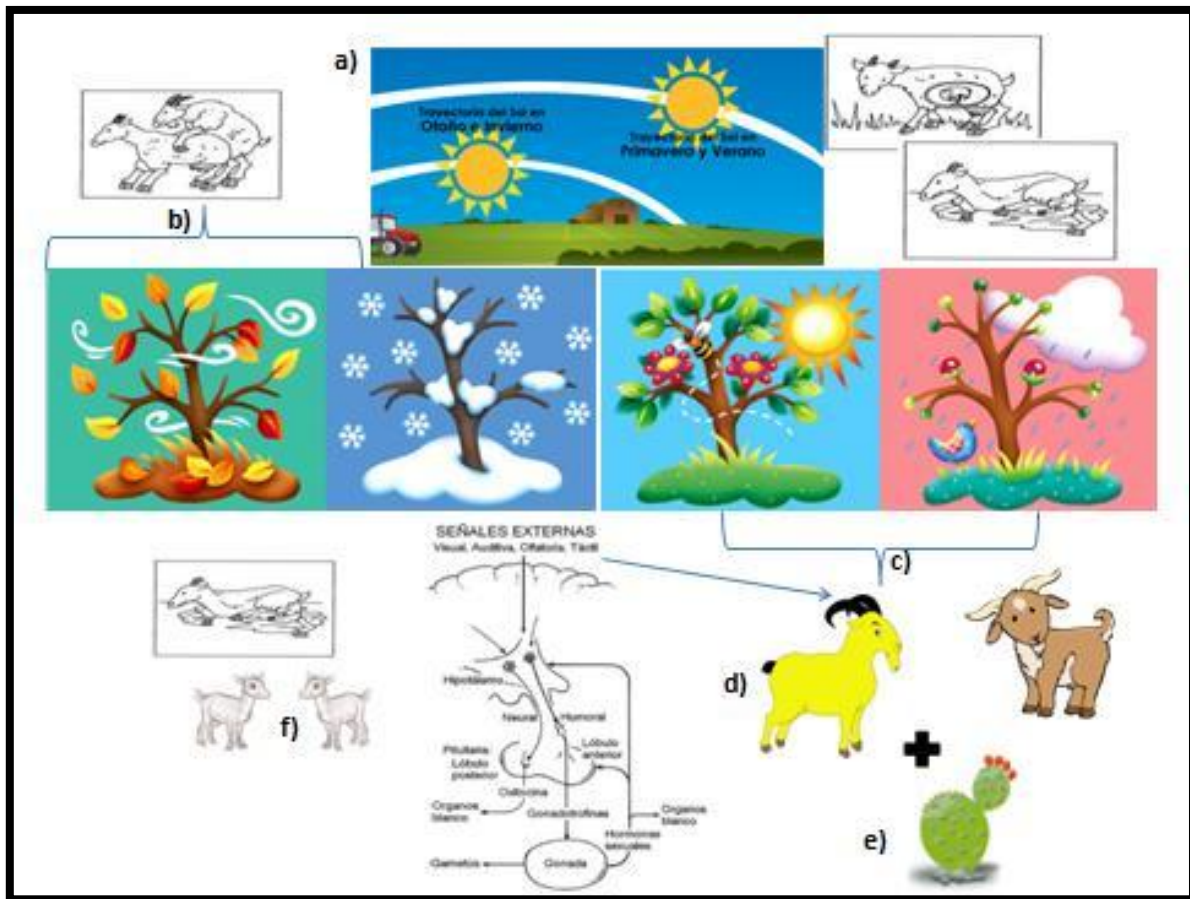


Figura 3. Esquema de los factores involucrados en la reproducción caprina. a) Representación gráfica del fotoperiodo de acuerdo a las estaciones del año, b) Época natural de reproducción en cabras a 26 ° N. c) Época de anestro natural para cabras a 26° N. d) El efecto macho, técnica utilizada para estimular mediante señales socio-sexuales el comportamiento sexual de las hembras en época de anestro. e) Suplementación dirigida de cladodios de *Opuntia megacantha* (Salm-Dyck) a corto plazo con el objetivo de promover la función ovárica. f) La temporada de parición para el presente experimento ocurrió durante el otoño.

VII. CONCLUSIONES

En resumen, no se observó diferencia significativa para ninguna variable evaluada respecto al desempeño ovárico y reproductivo entre los grupos suplementados o no suplementados con *Opuntia*. Sin embargo, y en forma interesante, el efecto macho fue capaz de reactivar la vías folicular y lútea en cabras adultas durante la época de anestro. Aun cuando se observaron resultados interesantes generados por el efecto macho, posiblemente otros factores de tipo ambiental, principalmente los relacionados a la condición del agostadero hacia el tercer tercio de gestación, comprometieron la tasa de pariciones al aumentar la tasa de abortos, independientemente del grupo experimental. Ambos temas requieren el desarrollo de diversas investigaciones para dilucidar dichos resultados.

VIII. RECOMENDACIÓN

Es necesario alinear los procesos reproductivos con las mejores condiciones ambientales posibles en el agostadero con el objetivo de incrementar tanto la eficiencia económica como la sustentabilidad en aquellos sistemas de producción caprina marginales.

IX. LITERATURA CITADA

- Akanni, G.B.1., J.C. du Preez, L., Steyn, and S.G., Kilian. 2015. Protein enrichment of an *Opuntia ficus-indica* cladode hydrolysate by cultivation of *Candida utilis* and *Kluyveromyces marxianus*. J. Sci. Food Agric. 95: 1094-1102.
- Angel-Garcia, O., C.A. Meza-Herrera, V. Contreras-Villarreal, J.M. Guillen-Muñoz, C. Leyva, P.A. Robles-Trillo, R. Rivas-Muñoz, O., R. Rodriguez-Martinez, M. Mellado, F.G. Veliz. 2015. Effect of different male-to-female ratios and testosterone administration upon sexual behavior and the out-of-season reproductive performance of anestrus goats. Small Ruminant Research. 133:21-29.
- Angel-Garcia, O., C.A. Meza-Herrera, C.A., J.M. Guillen-Muñoz, E. Carrillo-Castellanos, J.R. Luna-Orozco, M. Mellado, F.G. Veliz-Deras. 2015. Seminal characteristics, libido and serum testosterone concentrations in mixed-breed goat bucks receiving testosterone during the non-breeding period. Journal of Applied Animal Research. 43(4):457-461.
- Aréchiga C, Aguilera J, Rincón R, Méndez de Lara S, Bañuelos R, Meza-Herrera CA. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 9:1-14.
- Ariosvaldo, N., M. Suassuna, A. Goncalves, P.S. Furtado, D.D. Flores, V.C. Alan, O.M. De Melo. 2004. [Protein-enrichment of forage palm (*Opuntia ficus indica* Mill.) throughout biotechnological processes]. 41 Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Production. Campo Grande, 19-22 July, Brazil.
- Ben Salem, H., and A. Nefzaoui. 2003. Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. Small Rumin. Res. 49: 275-288.

- Ben Salem, H., and T. Smith. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Rumin. Res.* 77: 174–194.
- Ben Salem, H., H. Abdouli, A. Nefzaoui, A. El-Mastouri, and L. Ben Salem. 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Rumin. Res.* 59: 229-237.
- Budak E, Fernandez-Sanchez M, Bellver J, Cervero A, Simon C, Pellicer A. 2006. Interactions of the hormones leptin, gherlin, adiponectin, resistin and PYY3-36 with the reproductive system. *Fertility and Sterility.* 85: 1563–1581.
- Carrillo, E., C.A. Meza-Herrera, A. Olan-sanchez, P.A. Robles-Trillo, C. Leyva, J.R. Luna-Orozco, R. Rodriguez-Martinez, F.G. Veliz-Deras. 2014. The "female effect" positively affects the appetitive and consummatory sexual behaviour and testosterone concentrations of Alpine male goats under subtropical conditions. *Czech Journal of Animal Science.* 59(7):337-343.
- Chemineau P. 1987. Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrous cycles in anovulatory goats. A review. *Livestock Production Science.* 17:135–147.
- Chemineau, P., Pellicer-Rubi, M. T., Lassoued, N., Khaldi, G., Monniaux, D. 2006. Male-induced short oestrous and ovarian cycles in sheep and goats a working hypothesis. *Reproduction Nutrition and Development.* 46:417–429.
- De Santiago-Miramontes, M.A., J.R. Luna-Orozco, C.A. Meza-Herrera, R. Rivas-Muñoz, E. Carrillo, G. Veliz-Deras, and M. Mellado. 2011. The effect of flushing and stimulus of estrogenized does on reproductive performance of anovulatory-range goats. *Trop. Anim. Health Prod.* 43: 1595-1600,

- Devendra, C. 2014. Rainfed areas and animal agriculture in Asia: the wanting agenda for transforming productivity growth and rural poverty. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25: 122-142
- Díaz-Plascencia, D., C. Rodríguez-Muela, P. Mancillas-Flores, N. Ruíz-Holguín, S. Mena-Mungía, F. Salvador-Torres, and L. Duran-Melendez. 2012. [In vitro fermentation of forage *Opuntia* inoculated with *Kluyveromyces lactis* obtained from apple residues]. *Rev. Electr. Vet.* 13: 1-11.
- Dickie, A., M.M. Paterson, C. Anderson, and J.S. Boyd. 1999. Determination of corpora lutea numbers in Booroola-Texel ewes using transrectal ultrasound. *Theriogenology.* 51: 1209-1224.
- Dong Y, Zhang X, Xie M, Arefnezhad B, Wang Z, Wang W, Feng S, Huang G, Guan R, Shen W, Bunch R, McCulloch R, Lei Q, Li B, Zhang G, Xu X, Kijas JW, Saledeh GH, Wang W, Jiang Y. 2015. Reference genome of wild goat (*capra aegagrus*) and sequencing of goat breeds provide insight into genic basis of goat domestication. *BMG-Genomics.* 16:431-
- Echavarría CF, Salinas GH, Hoyos FG, Falcón RJ, Flores RR. 1999. Comercialización de carne de caprino en Zacatecas. Fundación Produce SAGAR-INIFAP. Folleto Científico No. 4.
- Elias, A., L.P. Orquidea, J. Cordeiro, and L. Quitana. 1990. [A descriptive review about the development of one technology for the protein-enrichment of sugar cane throughout a solid stage fermentation process (*Sacchharina*)]. *Rev. Cubana Cien. Agric.* 24: 1-12.
- El-Mostafa, K., Y. El Kharrassi, A. Badreddine, P. Andreoletti, J. Vamecq, M.S. El Kebbaj, N. Latruffe, G. Lizard, B. Nasser, and M. Cherkaoui-Malki. 2014. Nopal cactus

- (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*. 19: 14879-14901.
- Escareño-Sánchez, L.M., Wurzinger M, Pastor López F, Salinas H, Sölkner J. Iñiguez L. 2011. La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la Comarca Lagunera, en el norte de México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17:235-246.
- FIRA. 1999. Oportunidades de Desarrollo en la Industria de la Leche y Carne de Cabra en México, Boletín Informativo Número 13, Volumen 32 Noviembre FIRA, México
- Flores-Hernández, A., I. Orona-Castillo, R. Trejo-Calzada, J.G. Arreola-Ávila, B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente, and J.L. García-Hernández. 2007. [Technologies for the production of nopal (*Opuntia* spp) under extreme conditions in the North of Mexico. XVII National Congress on Agriculture Engineering - AMIA] 1-15.
- Flores-Nájera, M.J., Meza-Herrera C.A., Echavarría F.G., Villagómez E., Iñiguez L., Salinas., H and González-Bulnes A., 2010. Influence of nutritional and socio-sexual cues upon reproductive efficiency of goats exposed to the male effect under extensive conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50: 897–901.
- Galati, E.M., M.R. Mondello, D. Giuffrida, G. Dugo, N. Miceli, S. Pergolizzi, and M.F. Taviano. 2003. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity. *J. Agric. Food. Chem.* 51: 4903-4908.
- Gazal S, Kouakou B, Amoah EA, Barb CR, Barrett JB, Gelaye S. 2002. Effects on Nmethyl-D,L-aspartate on LH, GH, and testosterone secretion in goat bucks maintained under long or short photoperiods. *J. Anim. Sci.* 80: 1623-1628.

- Gelez, H., and C. Fabre-Nys. 2004. "The male effect" in sheep and goats: a review of respective roles of the two olfactory system. *Horm. Behav.* 6: 257–271.
- Gonzalez-Bulnes, A., Meza-Herrera CA, Rekik M, Ben Salem H, Kridli RT. 2011. Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. In: *Semi-arid environments: Agriculture, water supply and vegetation*. Ed: K.M. Degenovine. Nova Science Publishers Inc. Hauppauge, NY, USA., Chapter 2:41-60.
- Gonzalez-Bulnes, A., Carrizosa, J. A., Urrutia, B., Lopez-Sebastian, A. 2006. Oestrous behaviour and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reprod. Fertil. Dev.* 18:745-750.
- Guerrero CM. 2010. La caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales.* 1:8.
- Lassoued, N., Khaldi, G., Cognié, Y., Chemineau, P., Thimonier, J. 1995. Effet de la progestérone sur le taux d'ovulation et la durée du cycle ovarien induits par effet mâle chez la brebis Barbarine et la chèvre locale tunisienne. *Reprod. Nutr. Dev.* 35:415-426.
- Luna-Orozco, J.R., Guillen-Muñoz JM, De Santiago-Miramontes MA, Garcia JE, Rodriguez-Martinez R, Meza-Herrera CA, Mellado M, Veliz FG. 2012. Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on induction of estrus in anovulatory goats. *Trop. Anim. Health Prod.* 44: 71-75.
- Martin, G.B., Oldham CM, Cognie Y, Pearce DT. 1986. The physiological responses of anovulatory ewes to the introduction of rams - a review. *Livest. Prod. Sci.* 15: 219-247.

- Mayén M. 1989. Explotación Caprina. Editorial Trillas. México: 9 -15.
- Mellado M. 1997. La cabra criolla en América Latina. *Vet. Mex.* 28: 333-343.
- Mellado, M., Gonzalez, H., García, J.E. 2001. Body traits, parity and number of fetuses as risk factors for abortion in range goats. *Agrociencia.* 35: 124-128.
- Mellado M. 2008. Técnicas para el manejo de las cabras en agostadero. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 9: 47-63.
- Mellado, J., Veliz FG, de Santiago A, Meza-Herrera CA, Mellado M. 2014. Buck-induced estrus in grazing goats during increasing photoperiod and under cold stress at 25° N. *Vet. Zootech.* T66(88):40-45.
- Meza-Herrera, C. A., Vargas-Beltrán F, Vergara-Hernandez H, Macias-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Rodriguez-Martinez R, Arellano-Rodriguez G, Veliz-Deras FG. 2013b. Betacarotene supplementation increases ovulation rate without an increment in LH secretion in cyclic goats. *Reprod. Biol.* 13(3):51-57.
- Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Bulnes A, Kridli RT, Mellado M, Arechiga-Flores CF, Salinas H, Luginbuhl JM. 2010a. Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. *Reprod. Dom. Anim.* 45(6):495-502.
- Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Velazquez A, Veliz-Deras FG, Rodriguez-Martinez R, Arellano-Rodriguez G, Serradilla JM, Garcia-Martinez A, Avendaño-Reyes L, Macias-Cruz U. 2014a. Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cycling adult goats. *Reprod. Biol.* 13(4):298-301.
- Meza-Herrera, C.A., Vargas-Beltrán F, Tena-Sempere M, Gonzalez-Bulnes A, Macias-Cruz U, Veliz-Deras FG. 2013a. Short-term betacarotene supplementation

positively affects ovarian activity and serum insulin concentrations in a goat model. *J. Endocrinol. Invest.* 36(3):185-189

Meza-Herrera, C.A., Calderon-Leyva G, Soto-Sanchez MJ, Serradilla JM, Garcia-Martinez A, Mellado M, Veliz-Deras FG. 2014c. Glutamate supply positively affects cholesterol concentrations without increases in total protein and urea around the onset of puberty in goats. *Anim. Reprod. Sci.* 147(3-4):106-111.

Meza-Herrera, C.A., Reyes-Ávila JM, Tena-Sempere M, Veliz-Deras FG, Macias-Cruz U, Rodriguez-Martinez R, Arellano-Rodriguez G. 2014d. Long-term betacarotene supplementation positively affects serum triiodothyronine concentrations around puberty onset in female goats. *Small Rumin. Res.* 116(2-3):176-182.

Meza-Herrera, C.A., Serradilla JM, Muñoz-Mejias ME, Baena-Manzano F, Menendez-Buxadera A. 2014b. Effect of breed and some environmental factors on body weights till weaning and litter size in five goat breeds in Mexico. *Small Rumin. Res.* 121(2-3):215-219.

Meza-Herrera, C.A., Hernandez-Valenzuela LC, Gonzalez-Bulnes A, Tena-Sempere M, Abad-Zavaleta J, Salinas-Gonzalez H, Mellado M, Veliz-Deras FG. 2011a. Long-term betacarotene-supplementation enhances serum insulin concentrations without effect on the onset of puberty in the female goat. *Reprod. Biol.* 11(3):236-249.

Meza-Herrera, C.A., Torres-Moreno M, Lopez-Medrano JI, Gonzalez-Bulnes A, Veliz FG, Mellado M, Wurzinger M, Soto-Sanchez MJ, Calderon-Leyva MG. 2011b. Glutamate supply positively affects serum release of triiodothyronine and insulin across time without increases of glucose during the onset of puberty in the female goat. *Anim. Reprod. Sci.* 125(1-4):74-80.

- Meza-Herrera, C.A., Ross T, Hallford D, Hawkins D, Gonzalez-Bulnes A. 2007. Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reprod. Dom. Anim.* 42: 461-465.
- Meza-Herrera, C.A., Ross T, Hawkins D, Hallford D. 2006. Interactions between metabolic status, pre-breeding protein supplementation, uterine pH, and embryonic mortality in ewes: Preliminary observations. *Trop. Anim. Health Prod.* 38: 407-413.
- Meza-Herrera, C.A., Tena-Sempere, M. 2012. Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: *Animal Reproduction in Livestock*. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>].
- Moffatt-Blue CS, Sury JJ, Kelly AY. 2006. Short photoperiod induced ovarian regression is mediated by apoptosis. *Reproduction*.131: 771-782.
- Mullins, K.A., Matthews HH, Griffin WM, Anex R. 2014. Impacts of variability in cellulosic biomass yields on energy security. *Environ. Sci. Technol.* 48: 7215-7221.
- NOM-051-ZOO-1995. 1996. Trato humanitario en la movilizacion de animales. SENASICA-SAGARPA, Mexico, DF, Mexico.
- NRC, 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Orona, C.I., Flores A, Rivera GM. 2000. [Guidelines for the establishment and management of *Opuntia* in a drip irrigation system in the Comarca Lagunera]. CENID RASPA-INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México. 18.

- Orozco-Luna, J.R., Meza-Herrera CA, Contreras V, Hernandez N, Angel O, Carrillo E, Mellado M, Veliz FG. 2015. Effects of supplementation during late gestation on goat performance and behavior under rangeland conditions. *J. Anim. Sci.* 93(8): 4153-4160
- Paul MJ, Zucker I, Schwartz WJ, 2008: Tracking the seasons: the internal calendars of vertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 363: 341–361.
- Pinos RJ, Sánchez TM. 2001. Efecto del consumo de energía en los procesos reproductores de la hembra bovina. Una revisión. *Revista científica-LUZ.* 11: 256-263
- Rekik, M., Gonzalez-Bulnes A, Lassoued N, Ben Salem H, Tounsi A, Ben Salem I. 2012. The cactus effect: an alternative to the lupin effect for increasing ovulation rate in sheep reared in semi-arid regions? *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96: 242-249.
- Rekik, M., Ben Salem J, Lassoued N, Chalouati H, Ben Salem I. 2010. Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes during late gestation-early suckling: effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity. *Small Rumin. Res.* 90: 53-57.
- Ren, J., S. Tan, L. Dong, A. Mazzi, A. Scipioni, and B.K. Sovacool. 2014. Determining the life cycle energy efficiency of six biofuel systems in China: a Data Envelopment Analysis. *Bioresour. Technol.* 162: 1-7.
- Rodriguez-Martinez, R., Angel-Garcia O, Guillen-Muñoz JM, Robles-Trillo PA, De Santiago-Miramontes MA, Meza-Herrera CA, Mellado M, Veliz FG. 2013. Estrus induction in anestrous mixed-breed goats using the female-to-female effect. *Trop. Anim. Health Prod.* 45:911-915.

- Rufino L.D.A., Pereira O.G., Ribeiro K.G., Valadares Filhoa S.C., Cavali J., Paulino P.V.R. 2012. Effect of substitution of soybean meal for inactive dry yeast on diet digestibility, lamb's growth and meat quality. *Small Rumin. Res.* 111: 56–62.
- Sakly, C., Rekik M, Ben Salem I, Lassoued L, Gonzalez-Bulnes A, Ben Salem H. 2014. Reproductive response of fat-tailed Barbarine ewes subjected to short-term nutritional treatments including spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 98: 43-49.
- Sakly, C., Rekik M, Ben Salem I, Lassoued N, Mtaallah B, Kraiem K, Gonzalez-Bulnes A. 2012. Reproductive response of Barbarine ewes to supplementation with alternative feed prior to and during mating under semi-arid extensive conditions. *Europ. Ass. Anim. Prod. Publ.* 131: 235-239.
- Salinas GH. 1993. Sistemas de producción caprina en el noreste de México. En: *Memorias del Seminario Nacional sobre Producción y Comercialización del Ganado Caprino*. Monterrey, NL., México.
- SIAP, 2012. (SIAP, Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). SAGARPA, México. www.siap.gob.mx. Consultado el día 14/06/2012.]. SAGARPA, México. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351
- Soares de Lima L., Alcalde C.L., Fonseca de Macedo F.A., Ribas de Lima L., Nunes Martins E., Coutinho CC., 2011. Sugar cane dry yeast in feeding for growing and finishing goat kids. *Rev. Brasil. Zoot.* 40(1):168-173.
- Soares de Lima L. , Alcalde C.L., Sakamoto Freitas H., De Labio Molina B.S., Fonseca de Macedo F.A., Horst J.A. 2012. Performance of dairy goats fed diets with dry yeast from sugar cane as protein source. *Rev. Brasil. Zoot.* 41(1): 232-236.

- Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera CA, Escobar-Medina FJ, Gamez-Vazquez HG, Ramirez-Andrade BM, Diaz-Gomez MO, González-Bulnes A. 2009. Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reprod. Biol.* 9: 283-294.
- Véliz, F.G., Meza-Herrera CA, De Santiago-Miramontes MA, Arellano-Rodríguez G, Leyva C, Rivas-Muñoz R, Mellado M. 2009. Effect of parity and progesterone priming on induction of reproductive function in Saanen goats by buck exposure. *Livest. Sci.* 125: 261–265.