



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y FUNCIÓN REPRODUCTIVA EN CABRAS: LUTEOGÉNESIS, PROGESTERONA SÉRICA Y TASA DE IMPLANTACIÓN EMBRIONARIA

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS
(UACH-URUZA, MÉXICO)**

**MÁSTER EN CAMBIO GLOBAL:
RECURSOS NATURALES Y SOSTENIBILIDAD
(UCO-IdEP, ESPAÑA)**

**PRESENTA:
CARLOS ENRIQUE SANTAMARÍA ESTRADA**

**DIRECTOR:
Ph.D. CÉSAR A. MEZA-HERRERA**
**CO-DIRECTOR
DR. ARNOLDO FLORES-HERNANDEZ**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Bermejillo, Durango, México, 2018



**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y
FUNCIÓN REPRODUCTIVA EN CABRAS: LUTEOGÉNESIS,
PROGESTERONA SÉRICA Y TASA DE IMPLANTACIÓN EMBRIONARIA**

Tesis realizada por **Carlos Enrique Santamaría Estrada** bajo la Dirección del Comité Asesor, evaluada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

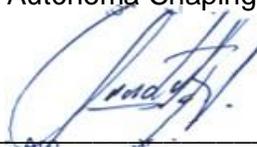
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS**

Director



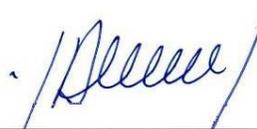
Dr. César Alberto Meza Herrera
Universidad Autónoma Chapingo-URUZA

Co-Director



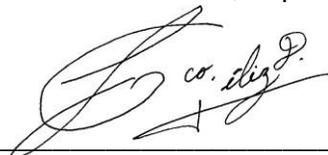
Dr. Arnólido Flores Hernández
Universidad Autónoma Chapingo-URUZA

Asesor



Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca
Universidad de Córdoba, España

Asesor



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

Bermejillo, Durango, Mayo, 2018.

**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y
FUNCIÓN REPRODUCTIVA EN CABRAS: LUTEOGÉNESIS,
PROGESTERONA SÉRICA Y TASA DE IMPLANTACIÓN EMBRIONARIA**

Tesis realizada por **Carlos Enrique Santamaría Estrada** bajo la Dirección del Comité Asesor, evaluada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

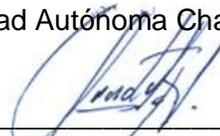
**MASTER EN CAMBIO GLOBAL:
RECURSOS NATURALES Y SOSTENIBILIDAD**

Director



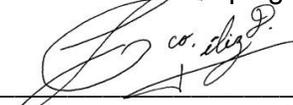
Dr. César Alberto Meza Herrera
Universidad Autónoma Chapingo-URUZA

Co-Director



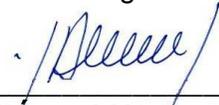
Dr. Arnaldo Flores Hernández
Universidad Autónoma Chapingo-URUZA

Asesor



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

Asesor



Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca
Universidad de Córdoba, España

Asesor



Dr. Juan Manuel Serradilla Manrique
Universidad de Córdoba, España

Asesor



Dr. Homero Salinas González
Universidad Autónoma de Coahuila, FCA.

Bermejillo, Durango, Mayo, 2018



UNIVERSIDAD
DE
CÓRDOBA



INSTITUTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO (IDEP)
Máster en *Cambio Global:*
Recursos Naturales y Sostenibilidad

Miguel Ángel HERRERA MACHUCA, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba y Director Académico del Máster Oficial: **CAMBIO GLOBAL: RECURSOS NATURALES Y SOSTENIBILIDAD**

INFORMA

Que con fecha 21 de diciembre de 2017, D. Carlos SANTAMARIA ESTRADA, con pasaporte de México N° G21857610, presentó a examen su Trabajo de Fin de Máster "**SUPLEMENTACIÓN CON NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y FUNCIÓN REPRODUCTIVA EN CABRAS: LUTEOGÉNESIS, PROGESTERONA SÉRICA Y TASA DE IMPLANTACIÓN EMBRIONARIA**". Después de la exposición y de las preguntas del tribunal evaluador, éste otorgó la calificación de Sobresaliente 10.

En Córdoba, a veintidós de diciembre de dos mil diecisiete.

Miguel Angel HERRERA MACHUCA



Se hace patente un reconocimiento para el apoyo de la presente investigación:

Al Programa de Becas Nacionales CONACyT 2016-2017, por el apoyo recibido para realizar mis estudios de maestría y poder formar parte de los becarios de CONACyT durante el mismo periodo de tiempo.

Al Programa de Becas Mixtas en el Extranjero, para Becarios CONACyT Nacionales 2016-2017 por su “apreciable apoyo” al brindar los medios económicos para la realización de una estancia académica y de investigación en España para la obtención del grado de Master en Cambio Global: Recursos naturales y Sostenibilidad dentro de la Universidad de Córdoba en colaboración con el Instituto de Estudios de Posgrado de Córdoba.

A la Coordinación General de Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) por el apoyo económico y las facilidades otorgadas para la realización de la estancia académica y de investigación en la Universidad de Córdoba (España).

A la Universidad de Córdoba (UCO), mediante el Instituto de Estudios de Postgrado (IdEP), por el respaldo al convenio de colaboración y las facilidades otorgadas para la realización de la estancia académica y de investigación en sus instalaciones.

AGRADECIMIENTOS

*A la **Universidad Autónoma Chapingo**, por ser mí casa y formarme académica y moralmente. Por darme las herramientas y conocimientos necesarios para contribuir con algo a la sociedad. Por conocer amigos y profesores de los cuales aprendí lo que se debe hacer y lo que no se debe hacer en favor del bienestar personal y de México. ¡Siempre agradecido con mi alma mater!*

*A la **Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas**, por darme la oportunidad de seguir formándome, ahora como Maestro en Ciencias. Brindándome la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos, nuevas, capacidades y aptitudes y por mantener una planta docente y de personal que ayudan a la formación de recursos humanos de gran calidad.*

*Al **Dr. Cesar Alberto Meza Herrera**, por ser un ejemplo de una persona con gran calidad humana y una excelente mente científica, y darme la oportunidad, una vez más, de poder trabajar a su lado; transmitiéndome sus valiosos conocimientos y consejos, los cuales fueron con la finalidad de hacer un buen trabajo y llegar a buen término en este proceso.*

*Al **Dr. Arnoldo Flores Hernández**, al **Dr. Francisco Gerardo Veliz Deras** y al **Dr. Homero Salinas González**, por sus valiosas aportaciones y comentarios al presente trabajo. Sin su valioso apoyo, este trabajo no tendría la calidad esperada.*

*Al **Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca** y al **Dr. Juan Manuel Serradilla Manrique**, por todo el apoyo ofrecido en mi estancia en la UCO (España) gracias a ellos se fortalecen los lazos de cooperación entre universidades americanas y europeas. Con la única finalidad de crear una red internacional en favor de la ciencia y el bienestar social.*

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación tiene especial dedicatoria a aquellas personas que han confiado en mí y me han apoyado para superarme profesional y personalmente. ¡Todos mis triunfos han sido gracias a ustedes!

A mis padres

Enrique Santamaría Hernández y Ma. Del Carmen Estrada García

Porque a pesar de todo, siempre han estado ahí cuando más lo necesito y me enseñaron con sus acciones que el trabajo duro es clave para conseguir el éxito. Gracias por sus enseñanzas, valores y por hacer todo lo posible para que no nos faltara nada. Ustedes son y serán pilar fundamental en mi vida, y gracias a ustedes he llegado hasta aquí.

A mis Hermanos

Martha Angélica Santamaría Estrada, Laura Rocío Santamaría Estrada y Javier Alberto Santamaría Estrada

A ustedes que entendieron que la única forma de poder superarse es mediante el estudio y los valores que nos inculcaron nuestros padres, y no los decepcionaron. A ustedes, que a pesar de todo lo bueno y malo que hemos pasado, siempre han estado ahí, apoyándome cuando lo necesito. Este logro también es de ustedes.

A mis amigos

*A ustedes que estuvieron ahí en esta fase de mi vida y me demostraron que ser amigos no solo es convivir a ratos, sino estar ahí cuando uno más lo necesita: **Iván, Gustavo, Aldo, Mario, Luis** (Tate) y tantos más que hicieron que mi estancia aquí fuera de los mejores tiempos que he tenido. A mis compañeros de maestría (**Fátima, Máyela, Emilia, Iván**) y del Master (**Anabel, Blanca, Nadia**) y todo el personal administrativo que me apoyo en este proceso.*

A ti

*Que llegaste a mi vida de la forma más sorpresiva, sin buscarnos, sin necesitarnos, y sin embargo nos complementamos de tal forma que ahora tú me ayudaste a terminar este proceso de la mejor manera: ¡Cambiando mi vida para bien y siempre sacando lo mejor de mí! Gracias por tu apoyo, tu cariño y por estar siempre ahí. ¡Gracias mi **Scarlita!***

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por Carlos Enrique Santamaría Estrada, nacido el día 9 de mayo de 1992 en Magdalena de las Salinas, Delegación Gustavo A. Madero, Distrito Federal, México (CURP: SAEC920509HDFNSR04). Ostenta el título de Ingeniero en Sistemas Pecuarios (Cedula profesional: 9713956), título obtenido en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), departamento perteneciente de la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2007-2014. Se desempeñó como técnico elaborador de proyectos de inversión rural en la UGOCP Estado de México (2014-2016) brindando asesoría técnica a grupos de trabajo.

Realizó estudios de Maestría en el Programa de Posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas, UACH-URUZA, generación 2016-2017. Así mismo, dentro del periodo de enero-junio de 2017, desarrollo una estancia académica y de investigación en la Universidad de Córdoba, España, cumpliendo con los requisitos para la obtención del título de Master en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad, como parte del convenio de doble titulación entre la UACH-URUZA (México) y el IdEP-UCO (España).

Ha participado en las siguientes publicaciones:

Santamaría-Estrada, C.E., Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G., Girón-Gómez, B.S., Álvarez-Ruiz, A.R., Navarrete-Molina, C. Paleta-Ochoa, A., Contreras-Villareal, V., Tejada-Ugarte, L.M., Romero-Rodríguez, C.A. (2015) Suplementación focalizada de glutamato, desarrollo de folículos antrales y patrón de secreción de LH en cabras adultas. III Congreso Internacional de Ciencia Tecnología, Innovación y Emprendimiento. Universidad Estatal de Bolívar. Bolívar, Ecuador, Noviembre 2015. Pp. 63-74.

Meza-Herrera, C.A., Santamaría-Estrada, C.E., Calderón-Leyva, C.A., Rosales-Nieto, C.A., Veliz-Deras, F.G., Romero-Rodríguez, C.A., Navarrete-Molina, C., Ramírez-Omaña, B., Girón-Gómez, B.S., Álvarez-Ruiz, A.R. (2016) Glutamate precision supplementation, antral follicular development and the secretion pattern of LH in adult goats. Poster abstract. 29th World Buriatics Congress. Dublin, Ireland, 2016. Pp. 598-599.

Meza-Herrera, C.A., Ramírez-Omaña, B., Rosales-Nieto, C.A., Moron-Cedillo, F.J., Santamaría-Estrada, C.E., Romero-Rodríguez, C.A., Navarrete-Molina, C. Supplementation with vitamin "E" in Rambouillet ewes during the last third of pregnancy: Effect on lamb birth weight. Poster-abstract. 29th World Buriatics Congress. Dublin, Ireland, 2016. Pp. 624.

**Suplementación de nopal proteicamente enriquecido y función reproductiva en cabras:
luteogénesis, progesterona sérica y tasa de implantación embrionaria**

**Supplementation of protein enriched opuntia and reproductive function in goats:
Luteogenesis, serum progesterone and embryo implantation rate**

Santamaría-Estrada, Carlos Enrique; Meza-Herrera, Cesar Alberto.

RESUMEN

Se evaluó el posible efecto de la suplementación de nopal (*Opuntia megacantha* Salm Dick) enriquecido proteicamente sobre la luteogénesis, secreción de progesterona y la tasa de implantación embrionaria en cabras adultas expuesta al efecto macho y bajo condiciones de pastoreo. El estudio se llevó a cabo en Lerdo, Durango, México (26°LN) en época de anestro (mayo-junio). Se registraron las variables peso vivo inicial (PV1, kg), condición corporal (CC, unidades), peso vivo al día 30 (PV30, kg), diámetro de cuerpo lúteo (DCL, mm), concentración sérica de progesterona (P4TOT, ng/mL) y tasa de implantación embrionaria (IMPLANT, %) en 45 cabras adultas de raza mixta (Alpino-Saanen-Nubia x Criollo). Fueron aleatoriamente divididas en tres grupos: 1) Opuntia enriquecido proteicamente (OPE, n=15; 44.5 ± 1.70 kg PV, 2.58 ± 0.14 unidades CC), 2) Opuntia no enriquecido (ONE, n=15; 43.92 ± 1.58 Kg PV, 2.57 ± 0.134 unidades CC) y 3) Control (CONT; n=15; 45.14 ± 1.58 Kg PV, 2.57 ± 0.13 unidades CC). Las cabras de los grupos OPE y ONE recibieron 160 g d-1 cladodios molidos y secados; el grupo OPE recibió cladodios enriquecidos en un biorreactor de fermentación. La suplementación fue dirigida antes y durante el empadre y las cabras anéstricas fueron expuestas (10-d) a la presencia de machos adultos sexualmente activos (Alpino-Saanen). Mientras que no existieron diferencias (P>0.05) entre grupos para PV1, PV30 y P4TOT, tanto el DCL y la IMPLANT (P>0.05) favoreció al grupo OPE (1.66 mm y 83%, respectivamente). La utilización del nopal favoreció la eficiencia reproductiva en caprinos y puede ser una alternativa de suplementación estratégica en cabras anéstricas expuestas al efecto macho y contribuir a la sustentabilidad de estos sistemas de producción animal en zonas áridas.

Palabras clave: nopal enriquecido, efecto macho, secreción de P4, diámetro CL, Tasa de implantación.

SUMMARY

The possible effect of protein enriched Opuntia (*Opuntia megacantha* Salm Dick) supplementation upon luteogenesis, progesterone secretion and embryo implantation rate in anestrus adult goats exposed to the male effect under grazing conditions, was evaluated. The study was conducted in northern Mexico (Durango; 26°LN) during the anestrus season (May-June). Adult goats (n=45, Alpino-Saanen-Nubia x Criollo) were used and the initial live weight (LW1, kg), body condition (BC, units), live weight at day 30 (LW30, kg), corpus luteum diameter (DCL, mm), serum progesterone level (P4TOT, ng/ml) and embryo implantation rate (IMPLANT, %) were recorded. Goats were randomly assigned to three groups: 1) Protein Enriched Opuntia (OPE, n = 15, 44.5 ± 1.70 kg PV, 2.58 ± 0.14 CC units), Non-Enriched Opuntia (ONE, n = 15, 43.92 ± 1.58 kg PV, 2.57 ± 0.134 CC units) and 3) Control (CONT; n = 15; 45.14 ± 1.58 kg PV, 2.57 ± 0.13 CC units). Goats from the OPE and ONE groups received 160g d-1 of milled and dried cladodes; a fermentation bioreactor was used to enrich the cladodes of the OPE group. The supplementation was offered before and during the experimental breeding; anestrus goats were exposed (10 days) to the presence of sexually active adult goat males (Alpino-Saanen). No differences (P> 0.05) among experimental groups were observed for LW1, LW30 and P4TOT. Nonetheless, both DCL and IMPLANT (P>0.05) differed among groups favoring the OPE group (1.66 mm and 83%, respectively). The use of targeted Opuntia supplementation favored the reproductive efficiency of goats and can be an interesting focus supplementation strategy in anestrus goats exposed to the male effect and it may contribute to the sustainability of these animal production systems under arid land conditions.

Key words: Enriched Opuntia, male effect, secretion of P4, diameter CL, implantation rate.

CONTENIDO

RESUMEN	viii
SUMMARY	viii
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	xi
ABREVIATURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO.....	8
2.1 Objetivo.....	8
2.2 Hipótesis	8
III. REVISIÓN DE LITERATURA	9
3.1 Importancia de la producción caprina en el mundo	9
3.2 Importancia de la producción caprina en México	12
3.3 Interacción nutrición-reproducción	14
3.4 Aspectos reproductivos de la cabra	18
3.5 Desarrollo folicular	20
3.6 Luteinización.....	21
3.7 Reconocimiento materno.....	22
3.8 Efecto macho.....	26
3.9 Utilización de <i>Opuntia</i> en la alimentación animal.....	30
3.10 Utilización Levaduras (<i>Sacharomyces cerevisiae</i>) en la alimentación animal	33
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
4.1 Localización	38
4.2 Animales experimentales y grupos experimentales.....	38
4.3 Suplementos experimentales y horarios de suplementación.....	39
4.4 Activación sexual del macho y “efecto macho”	40
4.5 Evaluación ultrasonográfica de la función ovárica	41
4.6 Muestreo sanguíneo intermitente	42
4.7 Análisis estadístico	43
V. RESULTADOS.....	45
5.1 Peso vivo y condición corporal	45
5.2 Diámetro de cuerpo lúteo	46
5.3 Secreción de progesterona	47
5.4 Tasa de implantación.....	47

VI.	DISCUSIÓN	51
6.1	Efecto opuntia: Luteogénesis y secreción de progesterona	51
6.2	Efecto Opuntia: Tasa de implantación embrionaria	54
VII.	CONCLUSIONES	61
VIII.	LITERATURA CITADA.....	63

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

No.	Titulo	Pág.
1	Composición química media en base seca de cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck bajo un procesamiento de enriquecimiento proteico (OPE), como no enriquecido (ONE), suplementados a cabras adultas expuestas al efecto macho en un fotoperiodo natural de días largos (Mayo-Junio), bajo condiciones áridas en el norte de México (26°LN).	40
2	Medias de mínimos cuadrados con respecto a peso vivo (PV) inicial y final, condición corporal (CC), Diámetro de cuerpo lúteo, concentración de P4 y tasa de implantación embrionaria en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criolla) suplementadas con nopal (<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck) enriquecido proteicamente (OPE), nopal normal (ONE) y sin suplemento (CONT). Las cabras fueron expuestas al efecto macho en condiciones de fotoperiodo natural de mayo-junio (anestro estacional) en condiciones de pastizal semiárido en el norte de México (26°LN).	50

FIGURAS

1	Inventario mundial de ganado caprino por continente. Elaborado en base a datos de FAOSTAT (2016).	10
2	Efecto “Agudo”, “Dinámico” y “Estático” de la nutrición sobre la tasa de “ovulación” en ovejas (Scaramuzzi <i>et al.</i> , 2006).	17
3	Proceso de reconocimiento materno	25
4	Modo de acción de la levadura <i>S. cerevisiae</i> sobre la fibra vegetal. Adaptado de Chaucheyras-Durand <i>et al.</i> (2012).	36
5	Protocolo experimental de la suplementación dirigida con nopal (<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck) enriquecido proteicamente (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (CONT) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criolla; n=15) expuestas a machos sexualmente activos en condiciones extensivas en el Municipio de Lerdo, Durango, México	43
6	Peso vivo inicial (día 1) y final (día 30) y Condición corporal de las cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (No existieron diferencias entre tratamientos; P<0.05)	45
7	Diámetro del CL en las cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo	46

	control (CONT). (Tratamientos con diferentes literales, denotan diferencias; $P < 0.05$)	
8	Concentración de P4 en cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (No existieron diferencias entre tratamientos; $P > 0.05$).	47
9	Tasa de implantación embrionaria en cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (Tratamientos con diferentes literales, denotan diferencias; $P < 0.05$)	48
10	Concentración de P4 a lo largo del periodo experimental en los grupos con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT) (No existieron diferencias entre tratamientos; $P > 0.05$).	49
11	Resume grafico de los efectos del nopal proteicamente enriquecido y el efecto macho sobre el diámetro del CL, secreción de P4 y tasa de implantación embrionaria en cabras anéstricas el norte de México (26°LN).	58

ABREVIATURAS

AUS	Análisis Ultrasonográfico
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
(BW (h) w´´)	Clima muy seco semicálido con lluvias en verano
CAM	Metabolismo ácido de las crasuláceas
CC	Condición corporal
CL	Cuerpo lúteo
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CONT	Grupo control o testigo
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grados centígrados
ENm	Energía neta de mantenimiento
FAD	Fibra detergente acida
FND	Fibra detergente neutra
FSH	Hormona folículo estimulante
G	Gramos
GH	Hormona de crecimiento
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropinas
IGF-I	Factor análogo a insulina tipo I
IGF-II	Factor análogo a insulina tipo II
IGFBP1	Proteína de unión 1 del factor análogo a insulina
IFN-t	Interferón tau

kg	Kilogramo
LE	Epitelio lúминаl del endometrio
LH	Hormona luteinizante
Min	Minutos
mL	Mililitros
Mm	Milímetros
MS	Materia seca
Ng	Nanogramos
ONE	Grupo suplementado con <i>Opuntia</i>
OPE	Grupo suplementado con <i>Opuntia</i> proteicamente enriquecida
PC	Proteína cruda
PGF2α	Prostaglandina F2 α
PV	Peso vivo
P4	Progesterona
RIA	Radioinmunoanálisis
SNPE	Suplementado con nopal proteicamente enriquecido
TND	Nutrientes digestibles totales

I. INTRODUCCIÓN

Históricamente, la cría de cabras ha tenido un importante papel en la alimentación de países en vías de desarrollo, sobre todo en regiones áridas y de difícil subsistencia (Aréchiga *et al.*, 2008; González-Bulnes *et al.*, 2011). Existen más de 1,000 millones de cabras en el mundo, las cuales se concentran en las regiones áridas con un 55%, en comparación al 39% de bovinos y el 25% de los ovinos. En 2015 a nivel mundial, las cabras proporcionaron 53.4 millones de toneladas de carne y 18 millones de toneladas de leche entera fresca (FAOSTAT, 2016). En Asia, África y América, la producción de cabras se ha adaptado a las condiciones del ambiente basándose en sistemas extensivos en tierras comunales que generalmente incumplen los requisitos mínimos nutricionales. Sin embargo, en países que presentan condiciones de aridez, las cabras asumen un papel importante en la seguridad alimentaria y como sustento económico de los caprinocultores (Escareño *et al.*, 2013). En México, las cabras producen anualmente 40,000 toneladas de carne y 155 millones litros de leche, generando ingresos económicos de 2800 millones de pesos mexicanos (Salinas-González *et al.*, 2015; 2016).

Las cabras son clasificadas como poliéstricas estacionales al presentar varios ciclos estrales en una estación específica del año debido a una estrategia reproductiva cuyo objetivo es que los partos ocurran durante la primavera (Meza-Herrera, 2012). Esta estrategia reproductiva está mediada por las diferencias en la cantidad de luz a lo largo del año, promoviendo la actividad reproductiva en los días de fotoperíodo corto mediante la secreción de melatonina (Brackel-

Bodenhausen *et al.*, 1994). Dicha variación reproductiva se relaciona íntimamente con el ritmo de producción de carne, leche y sus derivados (Álvarez y Zarco, 2001). En México, la época reproductiva en los caprinos comprende los meses de junio a diciembre (Carrillo *et al.*, 2010); en las hembras, cada 21 días presentaran signos de celo; mientras que el resto del año las cabras presentan un anestro estacional influenciado por el fotoperiodo. En condiciones normales se presentan una o dos ovulaciones que se producen 30-36 horas posteriores a la actividad estral (Chemineau y Delgadillo, 1993; Urrutia-Morales *et al.*, 2009).

Alineado con lo anterior, el peso vivo, la condición corporal, los nutrientes almacenados y una suplementación estratégica en la cabra ejercen una importante influencia sobre la reproducción (Flores-Nájera *et al.*, 2010; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2011; Mellado *et al.*, 2011; Meza-Herrera *et al.*, 2013; 2014; López-Flores *et al.*, 2018). El balance energético de los animales es parcialmente controlado por el sistema endocrino, el cual actúa como regulador de señales del ambiente y la respuesta de los organismos. Dichas respuestas pueden ser hormonales y metabólicas, como la acción de la insulina, la homeostasis de glucosa, las reservas de glucógeno, la presencia en plasma del factor análogo a insulina tipo 1 (IGF-1), la hormona de crecimiento (GH) y leptina entre otros. Dichas hormonas reproductivas y metabólicas aunadas a la presencia de ciertos metabolitos, modularan el patrón de secreción de la hormona iniciadora de la función reproductiva: la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Esta hormona a su vez, promoverá la liberación pulsátil de la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) y

modulará la función del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas tanto para el inicio de la función reproductiva en la pubertad, como el reinicio concurrente de la función reproductiva a lo largo de la vida adulta en especies con reproducción estacional. Esta estrecha asociación entre nutrición y reproducción permite asegurar que la reproducción se alinee al suministro de alimentos o al estado metabólico (Meza-Herrera *et al.*, 2004; Scaramuzzi *et al.*, 2006; Gámez-Vázquez *et al.*, 2008; Meza-Herrera *et al.*, 2010; Meza-Herrera 2012; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2014).

Los efectos de la suplementación nutricional sobre la cadena de eventos reproductivos, desde la gametogénesis a la pubertad en hembras y machos, han sido ampliamente reportados (Arellano-Rodríguez *et al.*, 2009; Meza-Herrera *et al.*, 2011) y se pueden circunscribir a los efectos “dinámico”, “estático” y “agudo” de la nutrición (Meza-Herrera *et al.*, 2011; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). En forma interesante, el efecto “estático” de la suplementación en ovejas con lupino ha sido previamente reportado (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Las consecuencias positivas del llamado “efecto lupino” sobre el desarrollo folicular y la tasa de ovulación, además del aumento de hormonas metabólicas importantes, como insulina, IGF-I, leptina y glucosa, han sido lo más documentado (Downing *et al.*, 1995; Viñoles *et al.*, 2005; Scaramuzzi *et al.*, 2006), sin embargo, el lupino no tiene una distribución global (Rekik *et al.*, 2012).

Bajo contextos de producción marginales, una estrategia de suplementación basada en suplementos concentrados convencionales no es la opción más adecuada para la mayoría de los productores de bajos recursos (González-

Bulnes *et al.*, 2011; Sakly *et al.*, 2014). Al respecto, uno de los recursos vegetales de zonas áridas con una amplia gama de distribución y uso por el hombre y con potencial uso en animales es el nopal (*Opuntia*) (Flores y Aranda, 1997; Ben Salem y Smith, 2008; Meza-Herrera *et al.*, 2017). La utilización del nopal como suplemento en la alimentación en ovejas se ha realizado en asociación con harina de soya en tratamientos nutricionales a corto plazo (<10 días) encontrando efectos positivos sobre el desarrollo de folículos preovulatorios, además de mejorar la tasa de ovulación, lo que se ha denominado “efecto opuntia” (Rekik *et al.*, 2012; Sakly *et al.*, 2014). De la misma forma, se han reportado resultados interesantes sobre la suplementación de nopal en la alimentación de cerdas en lactancia, generando un aumento en el consumo voluntario de alimento, una menor pérdida de peso corporal y una reducción del intervalo de destete-estro (Ordaz-Ochoa *et al.*, 2017). El nopal como alimento alternativo aporta de 8 a 50% de materia seca (MS), altas cantidades de vitamina A y C, 5-6% de proteína cruda (PC) y una alta cantidad de carbohidratos solubles (640-710 g kg⁻¹ MS); una alta cantidad de energía digestible, mucilago y palatabilidad (Guevara *et al.*, 2009; Gusha *et al.*, 2015).

Otra estrategia utilizada en cabras para optimizar la función reproductiva es la bioestimulación sexual conocida como “efecto macho”. Esta alternativa consiste en la interacción de hembras en estadio anovulatorio con machos sexualmente activos (Flores-Nájera *et al.*, 2010; Meza-Herrera *et al.*, 2017). Dicho efecto se ha definido como una forma eficaz y natural para inducir la ovulación y sincronizar el apareamiento y parto en hembras anestricas tanto en ovejas (Adib *et al.*, 2014)

como en cabras (Chemineau, 1987; Chemineau *et al.*, 2006 Veliz *et al.*, 2009), observando que un 90% de las hembras presentan ovulación durante los primeros 3 días después de la introducción del macho (Chemineau, 1987; Flores-Nájera *et al.*, 2010). Algunos trabajos que describen la respuesta de cabras anéstricas al estímulo del macho muestran resultados positivos (González-Bulnes *et al.*, 2006; Rosales-Nieto *et al.*, 2011). Sin embargo, las características de respuesta de las hembras a este efecto son variables y pueden depender de factores internos y externos, como factores genéticos, la calidad de los impulsos de los machos, el fotoperiodo y factores climáticos (Delgadillo *et al.*, 2006; Delgadillo *et al.*, 2011; Mellado *et al.*, 2014) así como nutricionales (González-Bulnes *et al.*, 2011; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2017).

La inducción y mantenimiento del estro, el apareamiento y los efectos de la nutrición sobre una reproducción efectiva tiene como objetivo el mantener una gestación exitosa por lo que un mal manejo nutricional puede representar pérdidas económicas y biológicas (Agudelo, 2001; Meza-Herrera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). En caprinos, la implantación embrionaria y el mantenimiento de la gestación dependen en forma significativa de una óptima función del cuerpo lúteo (CL), el cual es una glándula endocrina transitoria originada de las células foliculares después de la ovulación. El CL regula el ciclo estral y mantiene la gestación mediante la secreción de progesterona (P4) promoviendo una exacta coordinación funcional entre las células de la teca y la granulosa; las células de la granulosa, a partir de colesterol sanguíneo,

producirán P4, una hormona que participa en los procesos de reconocimiento materno, adhesión e implantación del embrión (Tomac, Cekinovic y Arapovic, 2011; Meza-Herrera *et al.*, 2010; Tolentino, 2014). Productivamente hablando, el productor debe poner atención sobre esta etapa fisiológica de la cabra; ya que según Salinas-González *et al.* (2016) en la Comarca Lagunera, 57% de los abortos en caprinos el feto ya estaba formado y un 43% aún era prematuro, pudiendo ser en la etapa de reconocimiento materno e implantación.

Considerando lo anterior, el diseño de protocolos como el uso de alimentos alternativos y el “efecto macho”, corresponden a un cambio de paradigma en la producción animal. La implementación de sistemas de producción animal en base a los conceptos “limpio, verde y ético”, busca en principio el bienestar animal, y por ende, una mejor respuesta productiva (Martin y Kadokawa, 2006; Meza-Herrera *et al.*, 2017). La utilización del efecto macho, como alternativa a la utilización de productos hormonales sintéticos (Martin *et al.*, 2004), y la utilización de la alimentación focalizada en el momento de mayor requerimiento de los animales (Martin y Kadokawa, 2006; Urrutia-Morales *et al.*, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2013; 2014; 2017) son estrategias que deben implementarse para evitar la contaminación, mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad de las unidades de producción. Al respecto, el género *Opuntia*, al poseer un metabolismo CAM, generan un aumento en la productividad de biomasa de 35% en respuesta a una concentración creciente del CO₂ atmosférico previsto para finales del siglo XXI. Además, los cambios de regímenes climáticos, la presencia de sequias y aumento de temperaturas, la absorción neta de CO₂, la productividad y el área

potencial de cultivo se verá incrementada. Por ello, el género *Opuntia* se presenta como un cultivo alternativo potencial y rentable ante los escenarios previstos para la ganadería del futuro (Flores y Aranda, 1997; Guevara *et al.*, 2009). Por lo anterior, la utilización de nopal como suplemento en la nutrición de pequeños rumiantes puede ser una alternativa económica, poco contaminante y sostenible. Sin embargo, se desconocen los efectos de la suplementación del nopal sobre factores fisiológicos específicos del proceso reproductivo, como lo son la luteogénesis, la secreción de progesterona y la implantación embrionaria.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

2.1 Objetivo

Cuantificar el posible efecto de la suplementación nutricional con nopal (*Opuntia megacanta* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente sobre la luteogénesis, la secreción de progesterona (P4) y la implantación embrionaria en cabras expuestas al efecto macho.

2.2 Hipótesis

La suplementación nutricional de nopal (*Opuntia megacanta* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente incrementara el proceso de luteogénesis o desarrollo lúteo, lo que conllevara a un aumento en la secreción de P4 y una mayor implantación embrionaria en cabras anéstricas expuestas al efecto macho.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Importancia de la producción caprina en el mundo

Las civilizaciones antiguas deben su establecimiento y crecimiento principalmente al desarrollo de la agricultura y ganadería, actividades que aún nos proveen de alimento y sustento, y que forman parte fundamental de la evolución como sociedad (Dong *et al.*, 2015). Para que se estableciera la ganadería como actualmente la conocemos se tuvo que pasar por un proceso de domesticación. Evidencia arqueológica demuestra que las primeras especies de ungulados domesticados fueron los ovinos, los bovinos, porcinos y las cabras; estos últimos hace 10,500 años en los valles altos del Éufrates, especialmente en las montañas de Zagros de Irán y el sureste de Anatolia, la meseta central Iraní (Naderi, *et al.*, 2008).

Evidencia arqueológica y estudios genéticos consideran como antepasado directo de las cabras a la *capra aegagrusur bezoar* (Naderi, *et al.*, 2008; Vahidi *et al.*, 2014). Después de más de 10, 000 años de domesticación, la cabra actual se distingue de su antepasado bezoar en distintos aspectos. Dong *et al.* (2015) enlista estas diferencias:

- Menor tamaño de cuerpo y cuernos
- Algunas razas no presentan cuernos
- Mayor facilidad de manejo
- Mayor variedad de pelajes entre razas

- Mayor adaptabilidad a zonas geográficas, debido a la migración de humanos

Como una de las primeras especies domesticadas, la cabra (*Capra hircus*), ha sido ampliamente distribuida en el mundo, formando parte fundamental de la economía y cultura de diversas sociedades, siendo proveedora de leche, carne, piel y fibras. Actualmente, el hato caprino mundial es el tercero más grande, después del ganado bovino y ovino y previo del porcino. Según el censo del año 2013 en el mundo existían aproximadamente 1,004 millones de cabras (Figura 1), de las cuales el 65% se encuentra en Asia, el 27.4% en África, el 3.5% en Europa y el 3% en América (Morand-Fehr *et al.*, 2004; Escareño *et al.*, 2013; FAOSTAT, 2016).

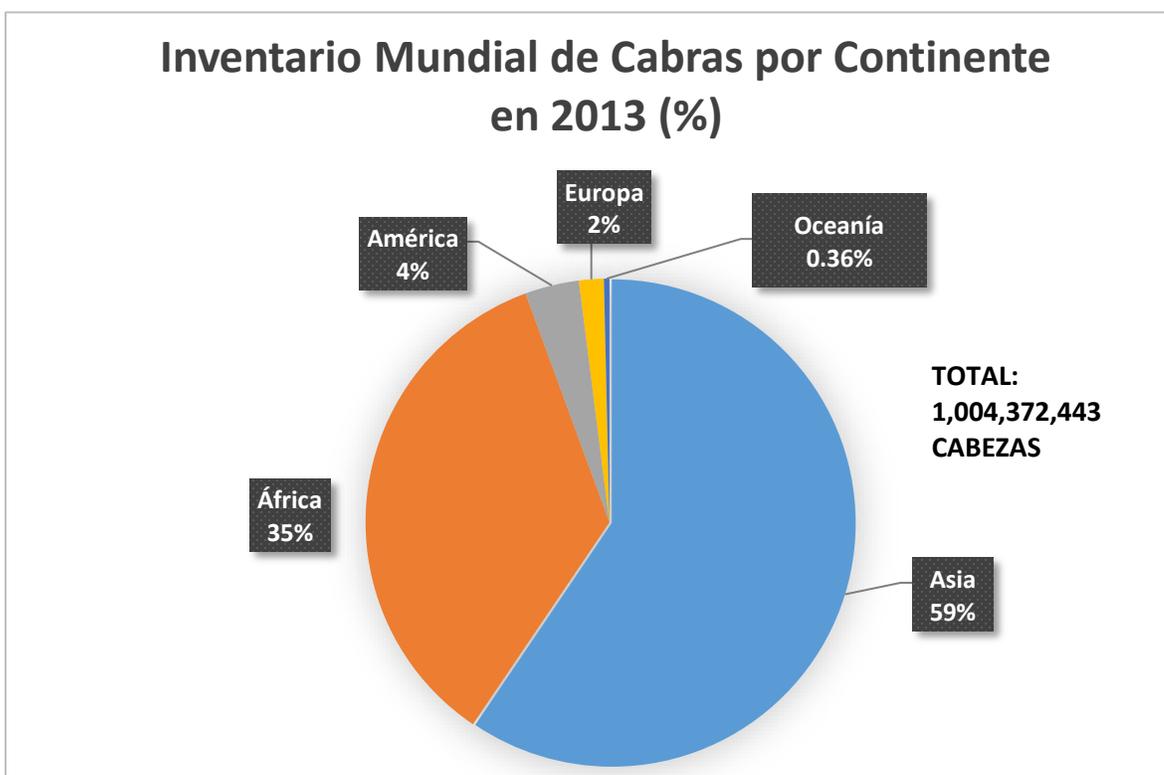


Figura 1. Inventario mundial de ganado caprino por continente. Elaborado en base a datos de FAOSTAT (2016).

La ganadería caprina es característica de países en vías de desarrollo, y cerca del 80% de las cabras se concentran particularmente en zonas áridas y tropicales de Asia, África y América (Morand-Fehr *et al.*, 2004). Para el año 2013, los principales países con mayor ganado caprino fueron China (182, 267,000 cabezas), India (134, 000,000), Pakistán (64, 858,000), Nigeria (70, 699,218) y Bangladesh (55, 600,000) (FAOSTAT, 2016). El hato caprino lechero en el mundo se estima en 191 millones de cabezas, de las cuales 47.7% de estas se encuentran en 25 países poco desarrollados. En Asia y África la leche producida es para consumo directo, mientras que en Europa y Latinoamérica es mediante su transformación en queso y dulces (Arechiga *et al.*, 2008; Escareño *et al.*, 2013).

La producción de leche caprina se realiza en diferentes sistemas de producción, dependientes de factores como la tenencia de la tierra, la tecnología utilizada y la intensidad de producción (Escareño *et al.*, 2013). Aréchiga *et al.*, (2008) menciona algunas características de los sistemas de producción:

1. Sistema extensivo: con grandes extensiones de terreno, alimentación a base de pastoreo. Se abaratan los costos de alimento e instalaciones, pero son menos productivos.
2. Sistemas Intensivos: cuentan con instalaciones, es una producción estabulada, se suministran alimentos concentrados con gran valor energético y proteico. Requiere mayores insumos, implica mayores costos; pero se obtienen mejores índices productivos.
3. Sistemas Semi-intensivos: representa una combinación de los dos anteriores; los animales pastorean de día y se les suplementa de noche.

En África, Latinoamérica y partes de Asia, las cabras han sido manejadas por productores sin propiedad de la tierra de pastoreo, con un bajo nivel tecnológico y a un nivel de subsistencia, obteniendo poca producción y ganancias; mientras que en países desarrollados, con un menor número de animales y la aplicación de tecnologías, se tiene una mayor producción. Dicha disparidad se debe principalmente a los tipos de sistemas de producción, la tecnología, asistencia gubernamental y a los canales de comercialización (Aréchiga *et al.*, 2008; Escareño *et al.*, 2013).

3.2 Importancia de la producción caprina en México

Antes de la llegada de los españoles a América, los únicos animales que existían en Mesoamérica eran los bisontes o cibolos, jabalíes o pecaris, 3 especies de perros y algunos caprinos salvajes. Todos los anteriores formaban parte de la dieta alimenticia de los nativos americanos. Al llegar los españoles en el siglo XVI, e instaurarse la colonia, los reyes de España enviaron ganado al nuevo mundo, entre ellos ganado bovino, aves, caballos, cabras, ovejas y cerdos. Se dispuso que por cada mil toneladas, las embarcaciones podrían llevar 20 vacas y terneras, así como, un número no determinado de ganado rumiante menor y cerdos. El objetivo de introducir ganado a la Nueva España fue el de mejorar la salud y aumentar la capacidad productiva de la población indígena (Montemayor, 1984).

En el segundo viaje de Colon, las cabras fueron asentadas en la isla La Española, para después llevarse a otras islas y posteriormente a México. Aunque no existe información precisa sobre la composición genética de la cabra mexicana, se le

considera una cabra criolla, resultado de la cruce de razas españolas, principalmente la Murcia-Granadina, la Blanca-Celtica-Ibérica y la Castellana (Mellado, 1997; Montaldo *et al.*, 2010).

La ganadería caprina ha ido evolucionando desde entonces, introduciéndose otro tipo de razas como los son la Alpina, Saanen, Toggenburg y Nubia para mejorar la producción de leche y Boer para la producción de carne. Debido a esto, ha ocurrido una transformación de la población original “criolla”, para ahora acuñarse el término “mosaicos” y describir a las poblaciones heterogéneas locales, reconociéndose 3 poblaciones multirraciales. Mosaico lagunero del norte, mosaico del centro y mosaico mixteco del sur (Montaldo, 2010).

Según datos del SIAP (2016), México cuenta con un hato caprino de 8, 687,814 cabezas, siendo considerado el primer productor de caprinos del continente americano, seguido por Brasil, siendo México el número 17° a nivel mundial para producción de carne caprina (Escareño *et al.*, 2013). Debido a sus condiciones de latitud y geográficas, en México 128 millones de hectáreas del territorio nacional son consideradas áridas o semiáridas y principalmente en estos ambientes se desarrolla la caprinocultura, siendo los principales productores de leche los estados de Coahuila y Durango (Comarca Lagunera), Guanajuato, Jalisco y Zacatecas, con una producción de 155 millones de litros de leche al año (Escareño *et al.*, 2013; SIAP, 2016).

En el norte del país los sistemas de producción caprina son heterogéneos en el uso de tecnología y sanidad, predominando los sistemas extensivos. Dichos sistemas son de un bajo nivel socioeconómico, carecen de recursos básicos

como agua y alimento, además de soportar sequías prolongadas. Aun con esto, la Comarca Lagunera, enclavada en el desierto chihuahuense, posee el mayor inventario caprino del país; produce cerca de 60 millones de litros de leche al año y genera una derrama económica de 263 millones de pesos anuales (Salinas-González *et al.*, 2015).

3.3 Interacción nutrición-reproducción

En los rumiantes y en los monogástricos de interés zootécnico la nutrición juega un papel muy importante para alcanzar los parámetros productivos y reproductivos que hagan rentable el sistema. El ambiente, manejo nutricional, las alteraciones en el consumo de energía y proteína, el fotoperiodo y las señales socio-sexuales influyen sobre el comportamiento fisiológico de los animales (Walkden-Brown y Bocquier, 2000; Flores-Najera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2017). Así, un estado nutricional positivo y una buena salud metabólica será asociado con un buen comportamiento reproductivo (Dupont, Scaramuzzi y Reverchon, 2014). En cambio, una subalimentación estará asociada con un retraso en el inicio de la pubertad, reducción en los comportamientos reproductivos, crecimiento pobre y un prolongado anestro postparto (Walkden-Brown y Bocquier, 2000).

De esta forma, la disponibilidad de alimento funciona como una señal externa para definir el equilibrio energético en hembras y machos, mientras que el balance energético será la señal interna que definirá la aparición o no de la actividad sexual (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). El balance energético definirá el estado nutricional que presenta el animal, así, cuando el requerimiento

sea mayor a lo consumido, el animal presentara un balance energético negativo, por lo tanto tendrá que movilizar glucógeno, triglicéridos y proteína de sus reservas corporales. Por otro lado, cuando el requerimiento neto de energía es menor a lo consumido, se presentara un balance energético positivo, por lo que los excedentes serán almacenados en los tejidos del animal (Scaramuzzi, *et al.*, 2006).

El balance energético de los animales es parcialmente controlado por el sistema endocrino, el cual actúa como regulador de señales del ambiente y la respuesta de los organismos. Dichas respuestas pueden ser hormonales y metabólicas, como la acción de la insulina, la homeostasis de glucosa, las reservas de glucógeno, la presencia en plasma del factor análogo a insulina tipo I (IGF-I) y la hormona de crecimiento (GH), los cuales todos ellos tienen repercusión sobre la hormona iniciadora de la función reproductiva, la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Mediante su liberación pulsátil se estimula la secreción de la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) y modulará el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas (Meza-Herrera *et al.*, 2004; Scaramuzzi *et al.*, 2006; Meza-Herrera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012).

Los efectos positivos de la suplementación nutricional sobre la respuesta reproductiva es una alternativa contra el uso de protocolos hormonales (Arellano-Rodriguez *et al.*, 2009; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2011; Meza-Herrera *et al.*, 2011). De ésta forma, al ofrecer una alimentación adecuada en un momento determinado se incrementará la eficiencia reproductiva de los animales. La

suplementación nutricional genera cambios en la concentración de hormonas metabólicas, incluyendo insulina, IGF-I, GH, triyodotironina (T3), tiroxina (T4), ghrelinas, apelinas y adipokines (Leptina, adiponectina, resistina); hormonas que tienen efectos directos sobre la función ovárica en rumiantes (Guerra-Garcia *et al.*, 2009; Dupont, Scaramuzzi y Reverchon, 2014; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). Los efectos de la nutrición sobre la función ovárica parece ser bidireccional, observándose un control a nivel hipotalámico y efectos estimulatorios a nivel ovárico, permitiendo o inhibiendo la ovulación o afectando la tasa de ovulación. (Scaramuzzi y Martin, 2008; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012).

De esta forma se proponen tres efectos de la suplementación nutricional sobre el rendimiento reproductivo en pequeños rumiantes (Figura 2), obtenidos mediante el incremento en peso vivo y el bienestar animal (Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012):

1. *Efecto estático*: Ocurre un incremento en la tasa ovulatorio de las hembras que tienen mayor condición corporal y peso vivo; comparadas con las hembras más ligeras (Somchit-Assavacheep, 2001).
2. *Efecto dinámico*: Mediante una sobre alimentación 3 o 4 semanas antes del empadre se obtiene un incremento del peso vivo y de la tasa de ovulación (Scaramuzzi *et al.*, 2006)
3. *Efecto agudo*: Mejora en la eficiencia reproductiva mediante una suplementación nutricional en un periodo menor a 10 días y sin un cambio en el peso vivo. La suplementación se realiza alrededor de la

fase de selección del folículo preovulatorio (Meza-Herrera y Tena-Sampere, 2012).

Los efectos de la suplementación nutricional sobre la cadena de eventos reproductivos, desde la gametogénesis a la pubertad en hembras y machos, han sido ampliamente reportados; siendo relevantes los resultados encontrados en la suplementación en ovejas con 500g de grano de lupino por día. Las consecuencias positivas del llamado “efecto lupino” sobre el desarrollo folicular y la tasa de ovulación, además del aumento de hormonas metabólicas importantes como insulina, IGF, leptina y glucosa, han sido lo más relevante. (Downing *et al.*, 1995; Viñoles *et al.*, 2005; Scaramuzzi *et al.*, 2006).

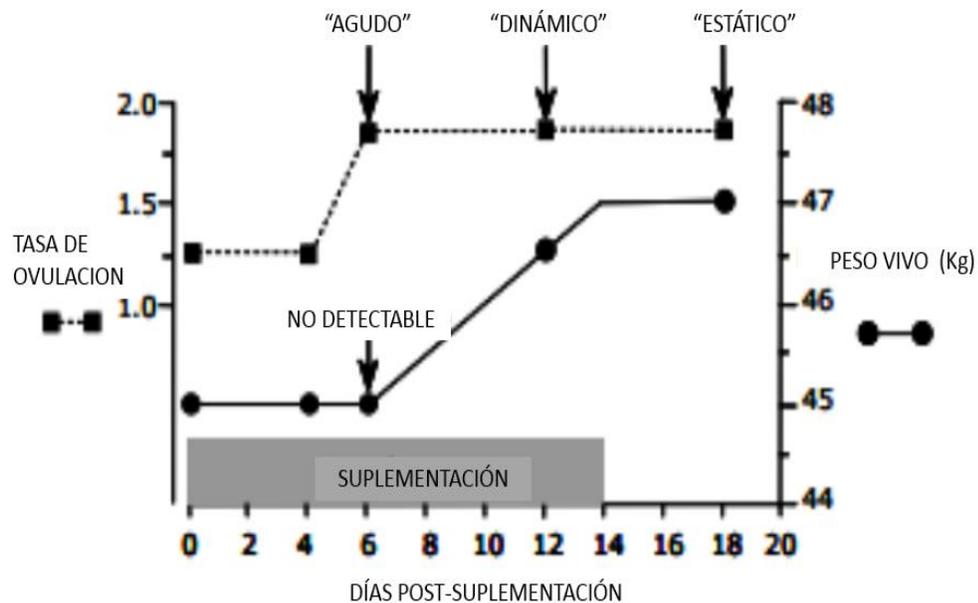


Figura 2. Efecto “Agudo”, “Dinámico” y “Estático” de la nutrición sobre la tasa de “ovulación” en ovejas (Scaramuzzi *et al.*, 2006).

3.4 Aspectos reproductivos de la cabra

La cabra es un animal influenciado por diferentes factores ambientales para la activación de sus funciones reproductivas. La presencia del macho, la nutrición-peso vivo-condición corporal y el fotoperiodo son los principales factores que inciden en la activación de la reproducción (Arellano-Rodríguez *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2010; Flores-Najera *et al.*, 2010; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2011; Meza-Herrera *et al.*, 2011; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). El fotoperiodo controla la actividad endocrina de la glándula pineal, la cual secreta melatonina durante los días donde hay mayor número de horas de oscuridad; de forma inversa, cesa su secreción en días de mayor número de horas luz (Chemineau *et al.*, 1992; Brackel-Bodenhausen *et al.*, 1994; Flores-Najera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012).

En México la época reproductiva de las cabras comprende los meses de junio a diciembre, en los cuales cada 21 días presentarán signos de celo; mientras que el resto del año las cabras presentan un anestro estacional influenciado por el fotoperiodo. El tiempo entre un celo y otro se denomina ciclo estral, en este, se presentan cambios fisiológicos y conductuales relacionados con la receptividad al macho para la reproducción de la especie. En condiciones normales se presentan una o dos ovulaciones que se producen 30-36 horas después de la actividad estral. (Chemineau y Delgadillo, 1993).

Para su estudio el ciclo estral consta de dos etapas, fase folicular y fase lútea, en este ciclo ocurrirán cambios morfológicos (desarrollo y reclutamiento folicular), bioquímicos (maduración folicular) y fisiológicos (regulación endocrina). La fase

folicular comprende el reclutamiento de un pool de folículos, en esta fase predomina la acción de las hormonas LH, FSH y Estrógenos para el reclutamiento, selección y dominancia de los folículos y posteriormente la ovulación de uno o dos folículos (Hafez y Hafez, 2000; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Haldar y Ghosh, 2015).

La secreción de FSH estimula el desarrollo folicular, así, folículos de 2-3 mm de diámetro son reclutados para su fase de crecimiento terminal. Solo 2 o 3 de estos folículos alcanzan un tamaño de 4 mm de diámetro y serán seleccionados para entrar en fase de dominancia. Posteriormente, bajo la influencia de LH, los folículos dominantes alcanzan un diámetro de 6-9 mm iniciando su etapa preovulatoria. El incremento de las concentraciones periféricas de 17-beta estradiol secretado por los folículos dominantes es el responsable del comportamiento de entrada al estro en la cabra. Además, este incremento en estrógenos induce mayor secreción de GnRH, consecuentemente inducirá el pico preovulatorio de LH, ocasionando la ovulación 20-26 horas después (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Haldar y Ghosh, 2015).

La fase lútea inicia una vez ocurrida la ovulación y comprende la presencia de un cuerpo lúteo (CL) conformado por los remanentes de los folículos que ovularon. En esta fase la hormona dominante es la Progesterona (P4), la cual conforma un ambiente intrauterino apropiado para la implantación del embrión y la preñez. Alrededor del 5° día de ocurrida la ovulación se forma el CL, el cual mantendrá una secreción alta de progesterona (>1ng/ml) durante 16 días, lo que inhibirá la ovulación. El fin de la fase lútea ocurre 16 o 18 días después de la ovulación,

donde es secretada por el útero la prostaglandina F2alfa y se induce la luteólisis del CL. De esta manera disminuye la secreción de progesterona, y comienza una nueva fase folicular (Hafez y Hafez, 2000, Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Haldar y Ghosh, 2015).

3.5 Desarrollo folicular

El folículo es considerado como la unidad funcional del ovario, este proporciona condiciones adecuadas para el desarrollo y mantenimiento del ovocito. En la cabra, el desarrollo folicular ocurre mediante oleadas en las que ocurre el reclutamiento, selección y dominancia de los folículos, presentando de 3 a 4 oleadas correspondiendo a la acción de LH y FSH (Hafez y Hafez, 2000; Findlay *et al.*, 2009).

El folículo está conformado por 2 capas celulares que cubren al ovocito, la capa interna corresponde a células de la granulosa, mientras que la capa externa a células de la teca. Las células de la granulosa proporcionan la estructura de apoyo y el microambiente para el ovocito en desarrollo; mientras que las células de la teca forman dos capas, teca interna y teca externa y sus principales funciones son: a) dar estructura y soporte y b) proporciona andrógenos para que las células de la granulosa produzcan estrógenos (Qui *et al.*, 2014).

El desarrollo folicular es controlado por gonadotropinas de la glándula pituitaria (FSH y LH). En el ovario, las células de la granulosa expresan receptores de la hormona FSH, lo que desencadena la cito-diferenciación y la proliferación de células de la granulosa. La proliferación de estas células promueve la secreción de líquido folicular y la formación del antro; el líquido folicular contiene activina,

la cual tendrá un efecto de retroalimentación positiva sobre la secreción de FSH, ocasionando mayor crecimiento del folículo. La hormona LH tiene injerencia sobre células de la teca interna, que promueve la síntesis de andrógenos a base de colesterol. Se sugiere que el reclutamiento de los folículos ocurre en la corteza del ovario en lugar de la médula, donde las células de la granulosa, estimuladas por la FSH, podrían mantener la capacidad de las células de la teca para la biosíntesis de andrógenos. Y de manera inversa las células de la teca, estimuladas por la LH, proporcionan andrógenos para apoyar y regular a las células de la granulosa para la biosíntesis de estrógenos por la forma autocrina/paracrina. A este mecanismo de acción conjunta entre capas del folículo se le conoce como “teoría de las dos células dos gonadotropinas” (Zhu *et al.*, 2013; Qui *et al.*, 2014).

3.6 Luteinización

El cuerpo lúteo juega un papel importante en la reproducción, ya que es la primera fuente de progesterona circulante para el mantenimiento de una preñez exitosa en caso de que ocurra. Se forma después de la ovulación, donde se considera al pico preovulatorio de LH como el principal estímulo para los cambios morfológicos y bioquímicos de las células de la teca y la granulosa. La capa de la célula de la granulosa se une con el antro folicular, el cual contiene líquido folicular y elementos altamente vascularizados; al mismo tiempo, se degrada la membrana basal y se dividen las células de la granulosa de las células de la teca. Estos procesos facilitan la integración de numerosos tipos celulares: células de la teca, fibroblastos y células endoteliales. El factor de crecimiento endotelial

vascular (VEGF) es el principal estimulador específico de la proliferación de células endoteliales (Fraser y Wulff, 2003). Esto incluye la regulación de genes, cambios en la señalización celular y la remodelación de estructuras de tejido. Así, las células de la granulosa adquieren capacidad de producir P4 a partir de colesterol y pierden la capacidad de producir estrógenos debido a la inhibición de la enzima aromatasa, iniciándose la luteinización. (Tomac, Cekinovic y Arapovic, 2011).

3.7 Reconocimiento materno

La fecundación comprende la unión de las células haploides del macho y la hembra, espermatozoide y ovocito respectivamente. A partir de esta unión ocurrirá una división celular del nuevo embrión formado. En la etapa de mórula (4-6 días después de la fecundación), el embrión entrara en el útero y formara un blastocisto conformado por una capa celular interna y una capa central llamada blastocele; la cual estará rodeada por el trofoectodermo cuya función es alimentar al embrión (Brooks, Burns y Spencer, 2014).

La formación del blastocisto se inicia cuando el embrión entra al útero; en los días 8-10 después de la fecundación ocurre la eclosión que antecede a la formación del blastocisto y permite al embrión salir de la zona pelúcida que lo rodea para exponer la superficie externa del trofoectodermo al medio uterino. El blastocisto crecerá lentamente hasta convertirse en una forma tubular ovoide, el cual se le denominara conceptus (embrión fetal y membranas extraembrionarias asociadas) (Roberts *et al.*, 2008; Brooks, Burns y Spencer, 2014).

La evidencia demuestra que la P4 ovárica induce la expresión de una serie de genes (HSD11B1 principalmente) del epitelio endometrial, que posteriormente serán estimuladas por interferón tau (IFNT), prostaglandinas (PGs) y cortisol del conceptus y PGs y cortisol del endometrio. Los genes y funciones reguladas por estas hormonas provocan cambios en el medio histiotrófico intrauterino, contribuyendo a la elongación del conceptus. La elongación del conceptus implica el inicio de la diferenciación extraembrionaria, incluye la gastrulación del embrión y la formación del saco vitelino y el alantoides para el suministro de nutrientes y la formación de la placenta. Para el día 15 el conceptus ocupa toda la longitud del cuerno uterino ipsolateral al CL (Brooks, Burns y Spencer, 2014).

El reconocimiento materno de la preñez requiere del mantenimiento de un CL funcional para la producción de P4, la cual proveerá un ambiente uterino que apoye la implantación, la placentación y el mantenimiento de una preñez viable. Debido a que la receptividad a la implantación es dependiente de P4, la evidencia demuestra que P4 es permisivo a acciones de interferones, como el interferón tau (IFNT), el cual es la señal antiluteolítica para el reconocimiento de la preñez en rumiantes. IFNT tiene propiedades antivirales, antiproliferativas e inmunomoduladoras. Se produce en cantidades masivas en el trofoectodermo del conceptus en elongación durante la periimplantación (Bazer, Wu y Johnson, 2017; Meza-Herrera *et al.*, 2010).

Alrededor de la 2° semana el conceptus en elongación permanece libre en el haz uterino, como respuesta a este retraso en la comunicación conceptus-útero El interferón tau (IFNT) se produce para comenzar la comunicación antes de la

unión uterina. El IFNT secretado por el trofoectodermo del blastocisto ejerce una acción antiluteolítica que implica la estabilización o regulación positiva de los receptores de progesterona en el endometrio y una inhibición del número de receptores endógenos de estrógenos y oxitocina. La teoría más aceptada predice que los efectos antiluteolíticos del IFNT impide la expresión del gen que genera receptores de estrógenos alfa (ER) en el lumen epitelial endometrial; la menor concentración resultante de ER impide y bloquea una ganancia en número de receptores de oxitocina (OXTR) en el mismo sitio y en los epitelios glandulares del endometrio. La ausencia de OXTR bloqueara una posterior liberación de PGF2alfa, lo que mantendrá la funcionalidad de CL (Rajaravindra, 2008). IFNT inhibe la expresión de OXTR, pero no de PTGS2, una ciclooxigenasa dominante expresada en el endometrio y en el trofoectodermo que desempeña un rol importante para la generación de prostaglandinas (PGs) reguladoras de la elongación del conceptus, además de mediar los efectos de IFNT y P4 en el endometrio uterino (Figura 3) (Brooks, Burns y Spencer, 2014).

En ovejas IFNT se comienza a secretar a partir de los días 12-13 de preñez, en bovinos desde el día 12 al 38 de la preñez y el caprinos entre los días 16 y 21 de gestación. En ovinos la implantación y placentación ocurre entre los días 15 y 60 de la preñez, mientras ocurre un reacomodo en el útero para soportar el último trimestre de la gestación. Las carúnculas y los cotiledones se desarrollan conjuntamente para formar placentomas que aumentaran en vascularidad y las glándulas endometriales intercarunculares crecerán durante el embarazo para secretar cantidades crecientes de histotrofo (Meza-Herrera *et al.*, 2015).

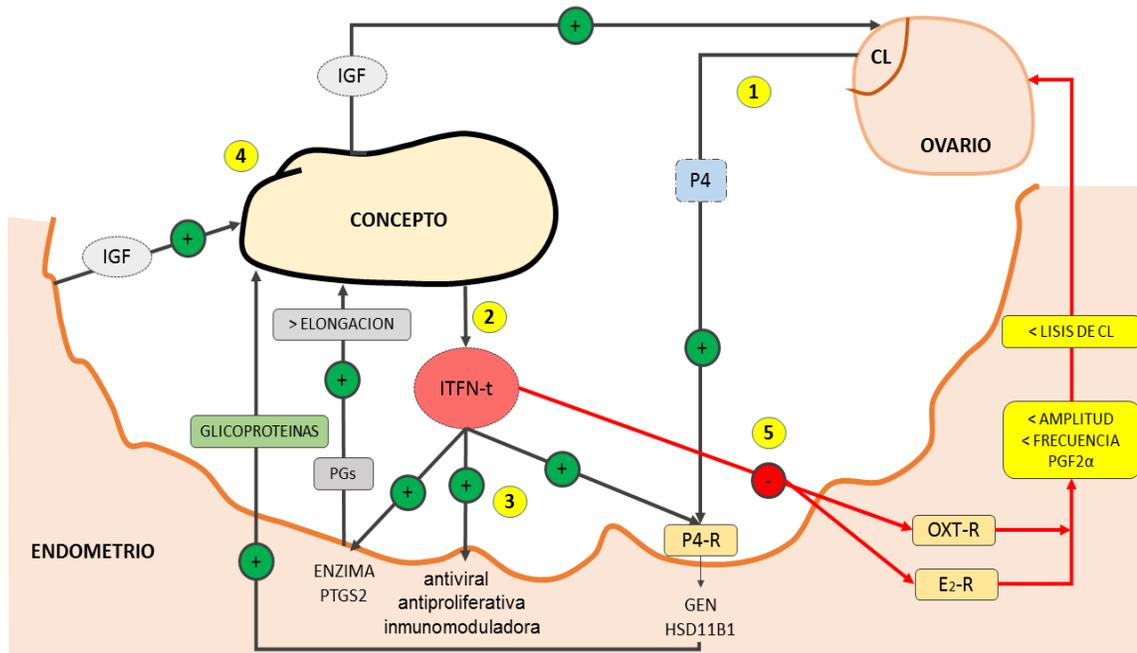


Figura 3. Proceso de reconocimiento materno. 1. En caprinos el principal productor de P4 es el CL, activando genes como el HSD11B1 en el epitelio lúmina del endometrio. 2. El concepto secreta IFNT como vía de comunicación antes de la unión uterina (entre los días 16 Y 20 de la gestación). 3. IFNT tiene las siguientes funciones: 1) regula positivamente los P4-R, 2) tiene propiedades antivirales, anti proliferativas e inmunomoduladoras, 3) favorece la expresión de PTGS, para sintetizar prostaglandinas (PGs) que favorecen la elongación del concepto y regulan P4 e IFNT y 4) favorece la síntesis de glicoproteínas. 4. La P4 estimula la secreción de IGF del endometrio, que favorece al concepto, este a su vez produce igualmente IGF que favorece a la síntesis de P4 por parte del CL. 5. IFNT tiene efectos negativos sobre la expresión y aumento de receptores de estrógenos y oxitocina (E2-R y OXT-R), que conlleva a una disminución en frecuencia y amplitud de PGF2α y por ende una menor acción luteolítica.

El histótrofo se deriva del transporte, síntesis y secreción de sustancias por el endometrio luminal y los epitelios glandulares del endometrio y es una mezcla compleja y bastante indefinida de proteínas, lípidos, aminoácidos, azúcares (glucosa y fructosa), que se transportan a través de las areolas del corialantoide en la circulación fetal-placentaria. Durante este periodo el útero se expone a Estradiol (E2), P4, IFNT y lactógeno placentario (CSH1) y la hormona de crecimiento placentaria (GH1) que regulan la morfogénesis de la glándula

endometrial y las funciones diferenciadas de la glándula epitelial uterina para soportar todo el periodo de gestación y suministran alimento al embrión (Brooks, Burns y Spencer, 2014; Bazer, Wu y Johnson. 2017).

3.8 Efecto macho

El fenómeno del efecto macho es conocido por ser la bioestimulación sexual en pequeños rumiantes, donde, por medio de la exposición de un macho sexualmente activo ante hembras ovinas o caprinas en anestro reproductivo, ocasiona una reactivación y sincronización de la actividad sexual (Tejada *et al.*, 2017; Calderon-Leyva *et al.*, 2018). Este fenómeno se realiza por medio de señales socio-sexuales como el contacto de las hembras con el macho (grado de acercamiento y duración), olores, sonidos, comportamiento sexual del macho (golpeteo de la pierna delantera, vocalizaciones, montaje) (Delgadillo, *et al.*, 2006; Vielma *et al.*, 2009; Flores-Najera *et al.*, 2010; Delgadillo *et al.*, 2011; Tejada *et al.*, 2017; Calderon-Leyva *et al.*, 2018).

En pequeños rumiantes el olor es una fuente importante de estimulación de los sentidos. En las hembras, las feromonas de las glándulas sebáceas lipídicas y no lipídicas de los machos inducen al estro y ocasionan un aumento de los pulsos de LH produciendo la ovulación, reducen el tiempo de duración del estro y disminuye el intervalo de eliminación de CIDR en cabras sincronizadas por este método, sin modificar el tiempo de ovulación y el número de ovulaciones (Romano, 2016).

El olor se considera como una de las señales sensoriales más importantes para inducir la ovulación. La feromona del macho 4-etiloctanal ocasiona en hembras

un aumento de la actividad electrofisiológica de múltiples unidades (MUA) dentro del núcleo arqueado (ARC), que se cree, representan un componente importante del generador de impulsos de GnRH. Las neuronas que expresan kisspeptinas, neurokininas B y dinoprhinas (KNDYS) se cree que son parcialmente responsables de la actividad MUA en ovinos y caprinos (Meza-Herrera *et al.*, 2010; Bedos *et al.*, 2016). Así, la introducción del macho ocasiona en las hembras un incremento en la pulsatilidad de LH. La estimulación de las gonadotropinas sobre los folículos ováricos ocasiona un incremento pulsátil de 17-beta estradiol (E2), ocasionado un pico preovulatorio de LH alrededor de 20-24 horas después de ingresados los machos. Las hembras ovulan entre el día 3-4 después de introducidos los machos (Chimineau, *et al.*, 2006).

En la cabra, el mecanismo de inicio de pubertad como de reactivación sexual aún no están completamente explicados, sin embargo se propone que las kisspeptinas y neurokinina B (NKB) tienen el rol de señalización, y parece ser un paso importante en la reactivación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, la secreción de GnRH y posteriormente de FSH y LH (Meza-Herrera *et al.*, 2010). En pequeños rumiantes, las neuronas kisspeptina se localizan principalmente en el área preoptica medial (mPOA) y el núcleo arqueado (ARC). La expresión del gen Kiss1 y la producción de péptidos son reguladas en el ARC durante el anestro. El efecto macho en hembras anovulatorias induce la activación de células GnRH en el mPOA y también de células kisspeptina en el ARC (Meza-Herrera *et al.*, 2010; Bedos *et al.*, 2016). Sakamoto *et al.* (2013) sugiere que las kisspeptinas y NKB del ARC reciben proyecciones eferentes del núcleo medial de

la amígdala (MeA), siendo esta señalización un requisito previo. Así, la señal quimiosensorial de la feromona masculina se transmite a través de las neuronas MeA a las kisseptinas del ARC y las NKB, donde se inicia la estimulación de los impulsos del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas.

Mediante la utilización del efecto macho la mayoría de las cabras registran ciclos ovulatorio cortos entre los días 2 y 5 después de la introducción del macho. Esto debido a que la hembra está saliendo de una época de arresto reproductivo (Tejada *et al.*, 2017; Calderon-Leyva *et al.*, 2018). El CL formado después de esta ovulación produce bajas concentraciones de P4, siendo estas concentraciones incapaces de impedir un incremento en la secreción de LH (Chimineau *et al.*, 1986; Chimineau *et al.*, 2006). A lo anterior se le conoce como presencia de ovulaciones y fases lúteas cortas. La aplicación de P4 a las hembras antes de la introducción del macho evita estos problemas y permite la aparición de signos de estro y la ovulación. Así, la aplicación de P4 estimula la aparición de una nueva onda folicular capaz de dar la ovulación adecuada después de efecto macho (González-Bulnes 2006).

Chimeneau *et al.* (2006) proponen una explicación de la aparición de ciclos cortos en hembras expuestas al efecto macho:

- 1) Los folículos inducidos a ovular por el efecto macho son de mala calidad, debido a que presentan una baja calidad de células de granulosa en comparación con los folículos en desarrollo durante la época natural de reproducción

- 2) El cuerpo lúteo desarrollado a partir de estos folículos tienen un desarrollo anormal que conduce a una proporción insuficiente de células lúteas grandes y por lo tanto secretan cantidades bajas de progesterona
- 3) El mecanismo contracorriente actúa amplificando localmente la diferencia de la concentración de P4 en las arterias uterinas y ováricas
- 4) Debido a estas concentraciones de P4 insuficientes que alcanzan al ovario y el útero, la cadena responsable de la liberación de oxitocina y la PGF es más sensible a los estrógenos
- 5) Debido a la baja concentración de progesterona plasmática no se bloquea la actividad gonadotrópica en los días posteriores a la ovulación
- 6) La nueva oleada de folículos iniciados los días 3 y 4 del primer ciclo inducido por el macho, siguen creciendo y secretan más estrógenos, por lo que el cuerpo lúteo inicia su capacidad de respuesta a las prostaglandinas
- 7) Estos estrógenos estimulan la secreción de prostaglandinas por el útero y la liberación de oxitocina por el cuerpo lúteo, causando así una luteólisis temprana.

De esta forma la aplicación de P4 al momento de introducir los machos suprime la presentación de ciclos cortos, esto probablemente no se debe a un retardo en la ovulación, sino por un reforzamiento a la formación del cuerpo lúteo y un bloqueo en la síntesis de prostaglandinas, impidiendo la luteólisis temprana.

3.9 Utilización de *Opuntia* en la alimentación animal

Las zonas áridas del mundo son generalmente afectadas por la falta disponibilidad de agua, para los ganaderos de estas regiones una opción adecuada para mantener la alimentación de sus animales es la utilización de vegetación nativa que pueda ofrecer a los animales parte de sus requerimientos durante la época seca del año; la provisión de agua y materia seca deben ser prioridad (Meza-Herrera *et al.*, 2017; Gamez-Vazquez *et al.*, 2018). Debido a esto, la utilización de especies como el nopal representan una alternativa para la alimentación del ganado en zonas áridas (Ben Salem y Smith, 2008; Meza-Herrera *et al.*, 2017).

El contenido de nutrientes del nopal depende de características genéticas y de las especies, la edad del cladodio, el lugar donde se desarrolla, la época de cosecha y de las condiciones de crecimiento, como la fertilidad del suelo y el clima; sin embargo, generalmente la concentración de calcio (Ca) es alta, siendo el principal componente mineral de la planta, presenta baja concentración en sodio (Na) y potasio (K) y normal en magnesio (Mg); esto en relación a los requerimientos de rumiantes. El Ca se encuentra en forma de oxalato de calcio, y puede alcanzar del 8% al 50% de materia seca (MS) y el 85% en las cenizas de las plantas viejas. El oxalato total es aproximadamente el 13% de la materia seca (MS), de los cuales el 40% está en forma soluble; los oxalatos al estar unidos al Ca hacen a este mineral menos disponible para los animales. Por otro lado, los cladodios presentan altas cantidades de vitamina A y C. siendo la vitamina A la que tiene mayor repercusión en la alimentación de los animales. El

contenido de carotenoides es de 29 µg /100 g, y el contenido de ácido ascórbico es de 13 µg/100 g. la cantidad de proteína es bajo, 5-6% proteína cruda (PC) y presenta una alta cantidad de carbohidratos solubles (640-710g/kg MS). El nopal presenta considerable palatabilidad, tolerancia a la salinidad, alto contenido de energía digestible y alto contenido de mucilago, sin embargo, a veces no es aceptado debido a su efecto laxante en los animales (Guevara 2009; Gusha *et al.*, 2015a).

En pruebas de alimentación donde se han utilizado al nopal como ingrediente nutricional se ha observado que en la fermentación ruminal promueve una producción eficaz de ácidos grasos volátiles, en especial de ácido acético y N bacteriano (Abidi *et al.*, 2009). Así como se ha visto que la suplementación con nopal y frutos de nopal no reducen el pH, debido a que el mucilago y los niveles de minerales estimulan la producción de saliva, y decrece de forma lineal el consumo de agua debido a la cantidad de agua que provee y los carbohidratos que aporta (Costa *et al.*, 2009).

Gusha *et al.* (2015b), al incluir nopal con algunas leguminosas forrajeras, reportó mayor palatabilidad, consumo de alimento, ganancia de peso y tasa de crecimiento en la dieta de nopal con *Leucaena leucocephala*. Ben Salem y Smith (2008) mencionan que corderos alimentados con especies leñosas o cactus espinosos (*Opuntia ficus indica*) perdieron peso debido a la presencia de taninos y oxalatos, sin embargo, la combinación de cactus y leguminosas presentaron buenos rendimientos y pueden ser considerados como alternativa eficiente en la alimentación de ganado. Por otro lado, la utilización del fruto del nopal en la

nutrición animal como sustitución de harina de maíz en dietas de cabras lecheras mostro un cambio en la composición fisicoquímica de la leche, principalmente en una reducción del contenido de lípidos en leche y el contenido de sólidos totales, así mismo, se presentó un incremento en triglicéridos de 6-10 átomos de carbono. Desde el punto de vista terapéutico, representa una ventaja para el consumo por personas con problemas pancreáticos (Costa *et al.*, 2010).

En México, se han registrado 100 de las 258 especies de opuntias, debido a que las condiciones ambientales son propicias para su crecimiento y distribución. Alrededor de 3 millones de Ha en el norte de México presentan poblaciones naturales de nopal; mientras que otras 150,000 ha son plantaciones comerciales. El nopal es usado durante el verano, la estación seca del año, mediante los siguientes métodos: a) consumo directo, b) quemado de las espinas de los cladodios por diferentes métodos (Flores y Osorio, 1997; Meza-Herrera *et al.*, 2017).

La utilización de nopal representa una alternativa ante la creciente demanda de alimentos concentrados e ingredientes cuya producción requiere altos costos de producción. La utilización de nopal ha tenido niveles inferiores de producción, sin embargo, los costos por unidad de producción (leche o carne) son menores en comparación con alfalfa fresca o heno y ensilado de maíz. Por otro lado, los opuntias, como plantas CAM, presentan un aumento en la productividad de biomasa de 35% en respuesta a una concentración creciente de CO₂ atmosférico previsto para finales del siglo XXI. Además, los cambios de regímenes climáticos, la presencia de sequías y aumento de temperaturas, la absorción neta de CO₂,

la productividad y el área potencial de cultivo se verá incrementada. Resultando en un cultivo alternativo potencial y rentable ante los escenarios previstos para la ganadería del futuro (Flores y Osorio, 1997; Guevara *et al.*, 2009; Meza-Herrera *et al.*, 2017).

3.10 Utilización Levaduras (*Sacharomyces cerevisiae*) en la alimentación animal

Los rumiantes contienen una estructura digestiva diferente a los monogástricos. En un animal rumiante adulto, el rumen llega a ocupar un volumen de 10 a 150 L en bovinos y 10 a 15 L en ovejas o cabras, ocupando gran proporción de la cavidad corporal. Esta estructura anatómica es un entorno rico para el desarrollo y mantenimiento de una comunidad microbiana densa y variada, ya que se desarrollan condiciones fisicoquímicas adecuadas, como lo son temperaturas de 39 a 40° C, un pH medio cercano a la neutralidad, y un potencial redox muy bajo, característico de un biotopo estrictamente anaeróbico, sin embargo se pueden encontrar concentraciones significativas de oxígeno en fase líquida (debido a la transferencia de saliva, la comida y la difusión de la sangre). La concentración de bacterias en el rumen va de 10^{10} a 10^{11} bacterias g^{-1} de contenido de rumen, y se pueden clasificar según el sustrato que degradan. Así, existen bacterias celulolíticas, hemicelulolíticas, pectinolíticas, amilolíticas, proteolíticas. Entre los géneros más comunes se encuentran *Eubacterium*, *Propionibacterium*, *Bifidobacterium*, *Lachnospira*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Streptococcus*, *Fibrobacter*, *Ruminobacter*, *Selenomas*, *Enterococcus*, *Enterobacter*, *Lactobacillus*, entre otros. Estos microorganismos mantienen una relación

simbiótica con su hospedero, así, el rumiante les ofrece alimento y un ambiente adecuado de supervivencia, y los microorganismos, especialmente los celulolíticos, ayudan a la degradación de la materia vegetal para un mejor aprovechamiento por parte del animal (Newbold *et al.*, 1996; Fonty y Chauheyra-Durand., 2006).

El concepto de administrar microorganismos benéficos en la alimentación de los animales se le denominó probióticos o “productos por la vida”. Sin embargo, este término implica una naturaleza curativa. La industria de alimentos, para superar este requisito, considera el término más genérico de “microorganismos de alimentación directa” (DFM) para describir a los aditivos alimentarios basados en microorganismos (bacterias y hongos) (Denev *et al.*, 2007).

Los suplementos fúngicos, llamados levaduras, estimulan el crecimiento y las actividades de determinados grupos de bacterias ruminales, siendo el cultivo de levaduras de *Saccharomyces cerevisiae* el más utilizado en la industria animal. *S. cerevisiae* mejora las actividades celulolíticas de los microorganismos del rumen, mejoran la digestión de las fibras, reducen la acumulación de lactato, reducen la concentración de oxígeno en el rumen (disminución del potencial redox del líquido ruminal), mejora la utilización del almidón de los concentrados suministrados, aumenta la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente propionato, aumenta las concentraciones de amoníaco, disminuye las concentraciones de azúcares solubles, disminuye la producción de metano y mantiene una fermentación estabilizada (El-Ghani *et al.*, 2004; Denev *et al.*, 2007; Desnoyers *et al.*, 2009; Chauheyra-Durand *et al.*, 2012).

El mecanismo de acción de las levaduras sobre las bacterias del rumen y sus efectos positivo en la producción animal aún no se ha dilucidado completamente, sin embargo, se propone que la actividad respiratoria de la levadura protege a las bacterias del rumen contra el daño por oxígeno. La mayoría de los microorganismos ruminales se consideran altamente sensibles al oxígeno, especialmente los celulolíticos. Además, se estima una posibilidad de que las células de levadura interactúen en el rumen con hongos anaeróbicos, ya que se han mostrado preferentemente colonizar celulosa y hemicelulosa, lo que hace que la fibra sea más accesible a las bacterias (Figura 4). Los cambios en número y actividad microbiana son responsables de una mejor digestión de las fibras. Por otro lado, también se considera que *S. cerevisiae* podrían liberar vitaminas u otros factores de crecimiento a células bacterianas estrechamente asociadas (Newbold *et al.*, 2006; Chauheyra-Durand *et al.*, 2012; Azzas *et al.* 2016)

Entre los resultados del metabolismo de la levadura *S. cerevisiae* se encuentra el ácido málico, el cual, como lo menciona Newbold *et al.* (1996), produce efectos altamente significativos sobre el crecimiento y las actividades metabólicas con ciertos cultivos puros de microorganismos ruminales *in vitro*, aunque con resultados variables en pruebas in vivo.

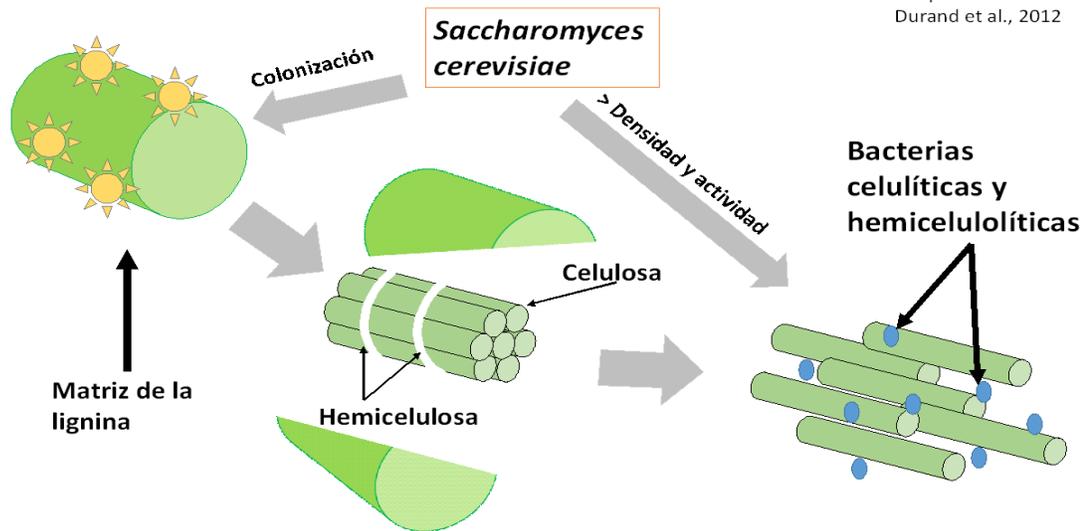


Figura 4. Modo de acción de la levadura *S. cerevisiae* sobre la fibra vegetal. Adaptado de Chaucheyras-Durand et al. (2012).

Entre los efectos fisiológicos de la adición de levadura *S. Cerevisiae* se encuentran un incremento significativo de consumo de materia seca y agua, repercutiendo en una disminución en grasa de la leche, pero no del contenido de proteína (Stella et al., 2007). Sin embargo, El-Ghani (2004), reporta que la grasa en leche disminuye en cabras adicionándoles 3g/ día; pero en cabras adicionando 6 g/día la grasa aumenta, pero con efectos negativos sobre la concentración de proteína.

Las concentraciones plasmáticas de proteína total, albumina, nitrógeno ureico, colesterol y triglicéridos no son alteradas por la suplementación de cultivo de levaduras, sin embargo la proteína total del plasma tiende a aumentar con la suplementación de cultivo de levadura viva. Esto puede estar relacionado con el

incremento en el amoníaco-N en el líquido ruminal y mayor ganancia de peso vivo (Özsoy *et al.*, 2013). Mientras que Stella *et al.*, (2007) reporta que los metabolitos del plasma sanguíneo y las enzimas hepáticas no se ven afectadas por la inclusión de la levadura.

Las variaciones en los resultados se puede deber a los ingredientes de la dieta, la composición natural de la dieta, la cepa de levadura utilizada y la dosis de cultivo de levadura. Además del efecto de la raza y las condiciones ambientales en las que se desarrollan los animales y que pueden interferir en las variaciones de resultados de los trabajos publicados sobre el efecto de *S. Cerevisiae* en rumiantes (Desnoyers *et al.*, 2009).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en una granja comercial de cría caprina en el Municipio de Lerdo, Estado de Durango, México. Ubicado entre los paralelos 25°10' y 25°47' latitud norte y los meridianos 103°20' y 103°59' longitud oeste. El municipio cuenta con un clima denominado muy seco semicálido con lluvias en verano (BW (h) w''). La temperatura media anual es de 18 a 22°C, teniendo como mínima mensual 12°C y como máxima puede rebasar los 30°C (García, 2004). El tipo de vegetación presente en este municipio es de matorrales xerófilos (*Ambrosia*, *Artemisa*, *Enclia*, *Eupatorium*, *Flourensia*, etc.) como dominantes, presentándose también leguminosas (*Prosopis spp.*), gramíneas (*Bouteloa*, *Sporobolus*, *Hilaria*, *Muhlenbergia*, etc.) y cactáceas (*Opuntia spp.*) (Rzedowski, 2006).

4.2 Animales experimentales y grupos experimentales

Se utilizaron 45 cabras adultas de las cruces de genotipos Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; no preñadas, no lactantes y en fase de anestro reproductivo. Con peso vivo (PV) y condición corporal (CC, base 4) homogéneos. Se dividieron aleatoriamente en tres grupos experimentales: 1) grupo suplementado con *Opuntia* enriquecido proteicamente (OPE, n=15; 44.5 ± 1.70 kg PV, 2.58 ± 0.14 unidades CC), 2) *Opuntia* no enriquecido (ONE, n=15; 43.92 ± 1.58 Kg PV, 2.57 ± 0.134 unidades CC) y 3) grupo control (CONT, n=15; 45.14 ± 1.58 Kg PV, 2.57 ± 0.13 unidades CC).

Las cabras fueron mantenidas durante el día en los pastizales, aisladas de la vista, el sonido y el olor de machos por lo menos tres meses (15 de febrero) antes

del inicio del período experimental. Los animales experimentales utilizados se mantuvieron bajo las condiciones de bienestar y trato bioético que resguarda la NOM-062-ZOO-1999 (Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio).

Tanto las cabras ONE y OPE fueron suplementadas individualmente con 160 g día⁻¹ durante un período de adaptación de 10 días (20 al 30 de abril). Todos los grupos de cabras se manejaron en forma homogénea y pastaron en el mismo lugar previamente descrito. Las unidades experimentales tuvieron libre acceso a agua y a una mezcla de minerales comerciales en el corral, durante las horas de la tarde-noche. Las cabras fueron tratadas contra los parásitos internos y externos.

4.3 Suplementos experimentales y horarios de suplementación

El enriquecimiento proteico de cladodios de nopal aportados al grupo experimental OPE se llevó a cabo mediante un proceso fermentativo semisólido, los cladodios fueron picados en pequeñas rebanadas de pencas e inoculados con levadura de cerveza (*Scharomyces cereveciae*) (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0.1%) en un biorreactor (Nopafer- R) durante un período de 10 horas; posteriormente, los cladodios enriquecidos fueron semi-secados a temperatura ambiente durante 72 h. La suplementación de los grupos ONE y OPE tuvo lugar de 09:00 a 10:00 horas antes de la actividad de apacentamiento durante un período de ajuste de 10 días. Los tres grupos experimentales se mantuvieron juntos durante el día en unos pastizales semiáridos y separados en corrales por la noche.

Cuadro 1. Composición química media en base seca de cladodios de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck bajo un procesamiento de enriquecimiento proteico (OPE), como no enriquecido (ONE), suplementados a cabras adultas expuestas al efecto macho en un fotoperiodo natural de días largos (Mayo-Junio), bajo condiciones áridas en el norte de México (26°LN).

	OPE, fresco	ONE fresco	OPE seco	ONE seco
MS (%)	12.5	12.9	92.06	92.09
PC (%)	29.8	6.44	20.56	4.9
FND (%)	18.3	21.34	17.52	14.7
FAD (%)	16.6	19.70	17.98	11.90
CNF (%)	24.4	43.85	33.91	53.3
TND (%)	57.2	53.15	56.41	61.0
ENm (Mcal/Kg MS)	2.27	1.88	2.21	2.31
Ceniza (%)	25.5	27.99	26.78	24.7

ENm fue calculado mediante ecuaciones consideradas por la National Research Council (NRC, 2007).

4.4 Activación sexual del macho y “efecto macho”

Una vez finalizado el periodo de adaptación a la suplementación de *Opuntia*, durante el período del 20 al 30 de mayo las cabras de los tres tratamientos fueron expuestas a seis machos adultos sexualmente experimentados de razas cruzadas (Alpina-Saanen, dos por tratamiento) de 3 a 4 años de edad; de fertilidad y libido probado. Los machos se mantuvieron encerrados en un corral con piso de cemento (6 x 6 m) antes del empadre, donde tuvieron libre acceso a

agua y una mezcla mineral; además de ofrecerles heno de alfalfa a libre acceso más 500 g de un concentrado comercial (NRC, 2007). Antes del contacto con las hembras, todos los machos recibieron una inyección intramuscular de testosterona (50 mg, testosterona, Lab. Brovel, DF, México) cada 3 días x 3 semanas antes del empadre experimental; del 30 de abril al 20 de mayo (Luna-Orozco *et al.*, 2012). Los machos fueron mantenidos permanentemente en esos corrales; por lo tanto, solo estuvieron en contacto con las cabras desde 18:00 hasta 08:00 h todos los días en lo que se denominó “empadre nocturno”.

4.5 Evaluación ultrasonográfica de la función ovárica

Se realizó una fase de análisis ultrasonográfico antes del periodo de empadre para confirmar anestro (5, 10 y 15 de mayo). El periodo de monta experimental fue iniciado el 20 de mayo, teniendo una duración de 10 días. El número de cabras que mostraron signos de estro o copulación se registró diariamente una vez definidos los comportamientos de inicio de la ovulación como resultado del efecto macho. El comportamiento estral fue verificado por una hora dos veces al día (08:00 y 19:00 h) durante el período de empadre (10 días).

Los machos fueron retirados de la monta experimental 10 días después del inicio del empadre. Se realizó un escaneo de ultrasonido transrectal en tiempo real modo B (Aloka SSD 500 Echo, Overseas Monitor Corp. Ltd., Japón), el día 10 de junio, con la finalidad de cuantificar el número de cuerpos lúteos y el día 5 de julio para evaluar la tasa de implantación embrionaria. Tanto los análisis ultrasonográficos (AUS) previos al empadre (5, 10 y 15 de mayo), así como después del periodo de empadre, se realizaron por un operador experto. La

evaluación del número de cuerpos lúteos (día 20 post-inicio del empadre) observados en cada estructura ovárica fueron medidos y registrados de acuerdo con los procedimientos descritos por Dickie *et al.* (1999). Los ovarios fueron visualizados a una ampliación de la imagen de 1.5x; posterior a eso, se midieron los CL post-empadre experimental, esto proporcionó información del desarrollo del cuerpo lúteo, así como de la tasa de implantación generados en los tres grupos experimentales expuestas al efecto macho.

4.6 Muestreo sanguíneo intermitente

Las muestras sanguíneas fueron colectadas al inicio del empadre y 10, 20, 30 y 45 días después del empadre mediante venopunción de la yugular utilizando agujas estériles de 0.8x38 mm (Becton Dickinson & Co., Franklin Lakes, USA) y tubos colectores vacutainer de 10 ml (Corvac Sherwood Medical, St. Louis, MO, USA). Una vez centrifugadas las muestras de suero (1,500 x g, 15 min) con su réplica se almacenaron en tubos de polipropileno a -4 °C. Las muestras recolectadas fueron evaluadas para determinar su contenido de progesterona (P4), mediante radioinmunoanálisis (RIA). Dichos análisis se realizaron en el laboratorio de endocrinología del Departamento de Ciencia Animal, de la Universidad Estatal de Nuevo México, Las Cruces, NM, EUA.

El periodo experimental considero un total de 61 días, del 5 de mayo al 5 de julio: 20 días de suplementación en hembras (10 d pre-empadre + 10 d de empadre). En esta etapa, concluyo la suplementación de Opuntia. La figura 5 muestra las principales actividades realizadas conforme lo descrito anteriormente.

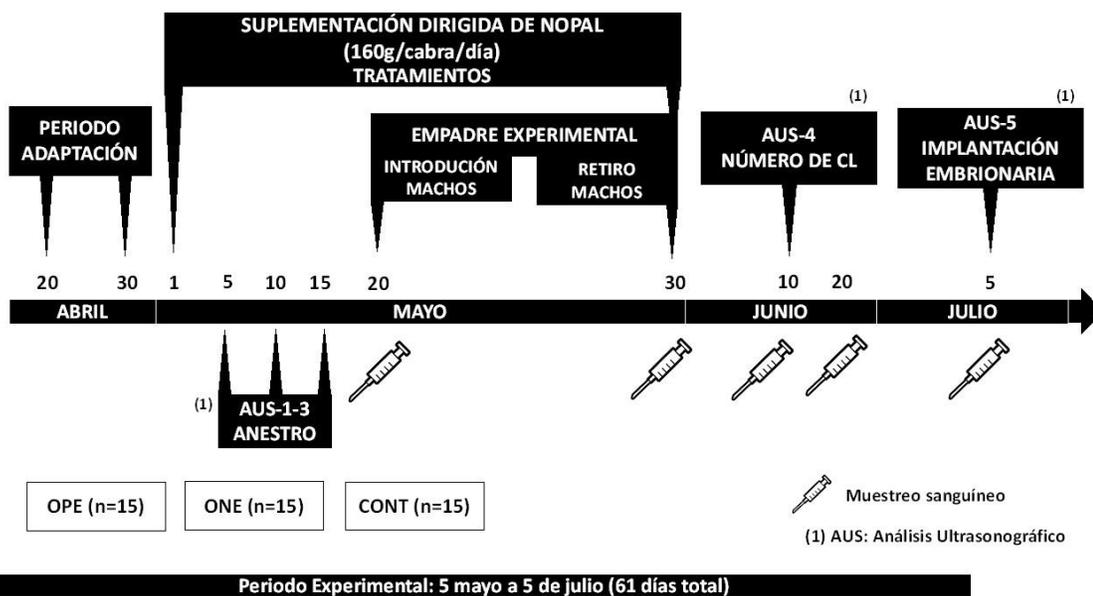


Figura 5. Protocolo experimental de la suplementación dirigida con nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (CONT) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criolla; n=15) expuestas a machos sexualmente activos en condiciones extensivas en el Municipio de Lerdo, Durango, México.

4.7 Análisis estadístico

En el análisis estadístico se consideraron como variables de respuesta el peso vivo inicial (PV1, kg), condición corporal (CC, unidades 1 a 4) y peso vivo a los 30 días (PV30, kg), el diámetro total del cuerpo lúteo (DCL, mm), la secreción total promedio de progesterona (P4TOT, ng/ml) y la tasa de implantación embrionaria (IMPLANT, %). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute Inc. V9.1 Cary, NC, EE.UU.) considerando un nivel de significancia de $P < 0.05$. Para las variables condición corporal (CC) y peso vivo (PV) entre tratamientos y a lo largo del experimento, se utilizó un análisis de varianza (PROC GLM) con un diseño completamente al azar con tres tratamientos (OPE, ONE y CONT) y 15 repeticiones por tratamiento.

Para las concentraciones de P4 a través del tiempo se realizó un análisis de varianza (PROC GLM) de los valores medios de todos los muestreos. Para todas las variables (PV1, CC, PV30, DCL, P4TOT, IMPLANT) se realizó una comparación de medias de tratamientos mediante el procedimiento de medias de mínimos cuadrados utilizando el procedimiento LSMEAN/PDIFF.

V. RESULTADOS

5.1 Peso vivo y condición corporal

El periodo de suplementación de nopal proteicamente enriquecido y solamente nopal comprendió una duración de 30 d, no existiendo diferencias entre ellos con respecto al control ($P>0.05$). Los valores de las medias mínimas cuadráticas de PV inicial en los grupos OPE, ONE y CONT fueron de 44.58 ± 1.7 kg; 43.92 ± 1.58 , $45.14 \text{ Kg} \pm 1.58$ kg), una condición corporal fueron de 2.58 ± 0.14 unidades; 2.57 ± 0.13 unidades; 2.57 ± 0.13 unidades. Los pesos al final de la suplementación fueron de 44.50 ± 1.84 kg; 43.78 ± 1.7 kg; 45.35 ± 1.70 kg) en los grupos OPE, ONE y CONT, respectivamente.

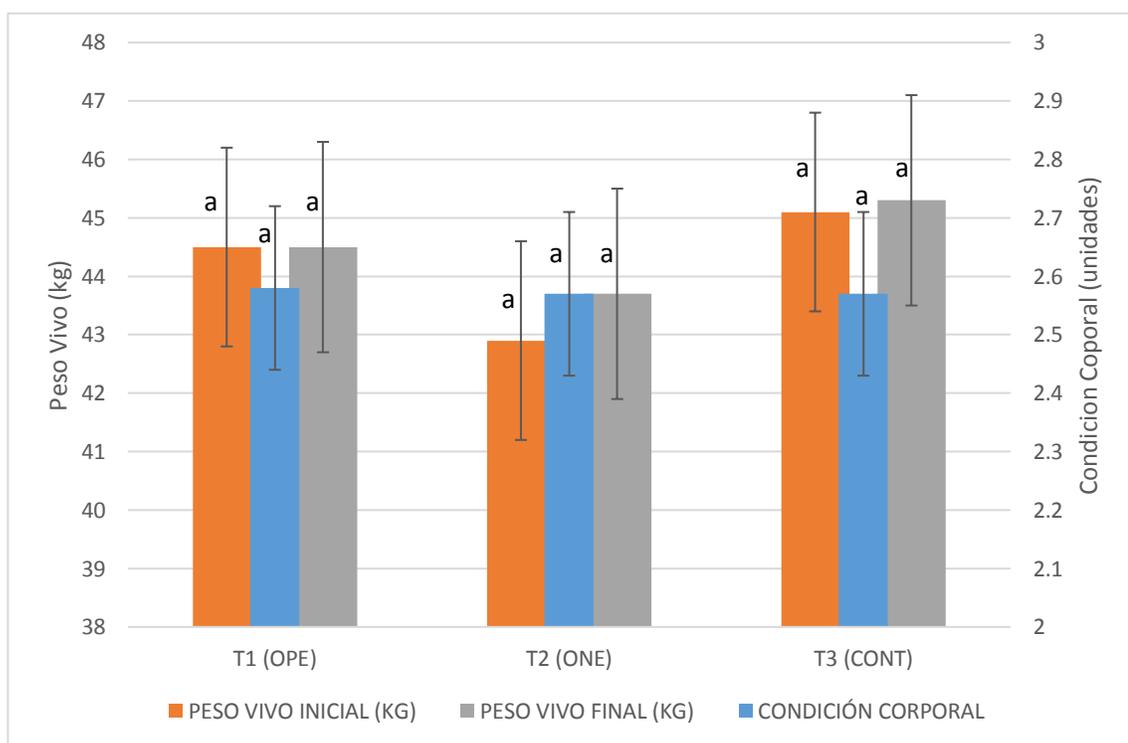


Figura 6. Peso vivo inicial (día 1) y final (día 30) y Condición corporal de las cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT).

(No existieron diferencias entre tratamientos; $P<0.05$)

5.2 Diámetro de cuerpo lúteo

Los valores de las medias mínimas cuadráticas del diámetro de cuerpo lúteo para cada grupo experimental fueron de 1.66 ± 0.34 mm para el grupo OPE; 0.92 ± 0.32 mm para el grupo ONE y 0.61 ± 0.32 mm para el grupo CONT (Figura 7). Mediante el análisis de varianza se determinó una diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$).

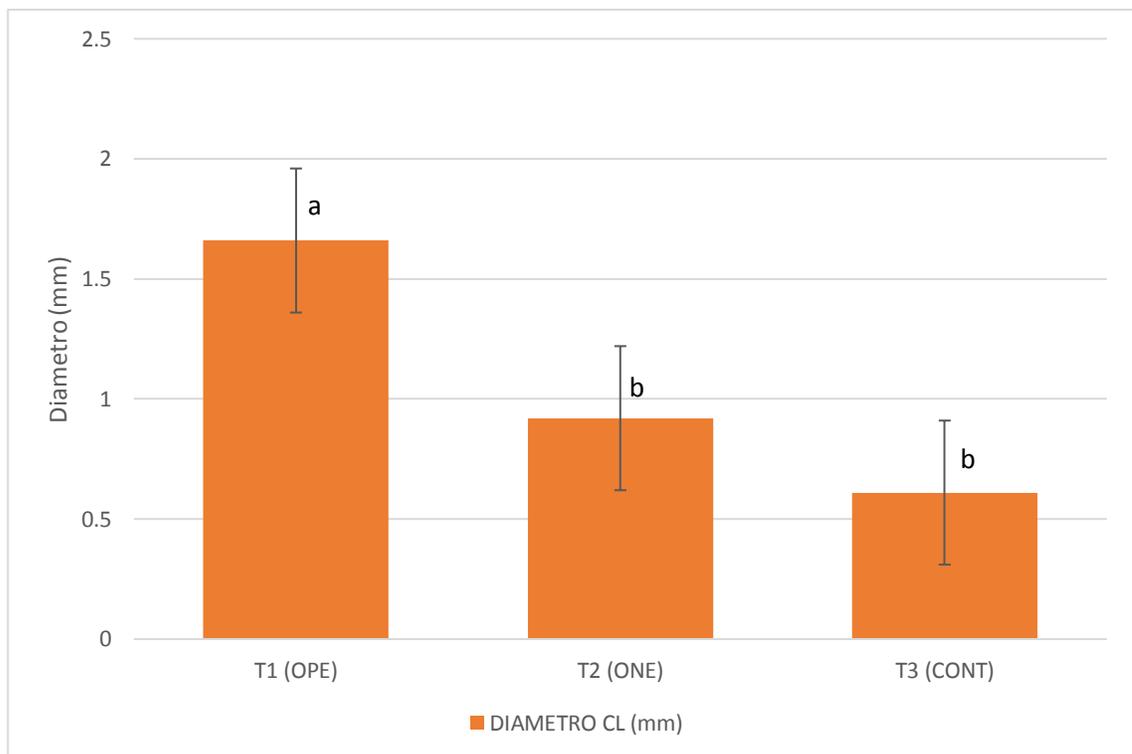


Figura 7. Diámetro del CL en las cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (Tratamientos con diferentes literales, denotan diferencias; $P < 0.05$)

5.3 Secreción de progesterona

Los valores de las medias mínimas cuadráticas de la concentración de progesterona (P4) para cada grupo experimental fueron los siguientes: $5.06 \pm 1,64$ ng/mL; 3.72 ± 1.51 ng/mL y 2.40 ± 1.51 ng/mL para los grupos OPE, ONE Y CONT, respectivamente (Figura 8). No se encontró diferencia significativa entre grupos ($P > 0.05$).

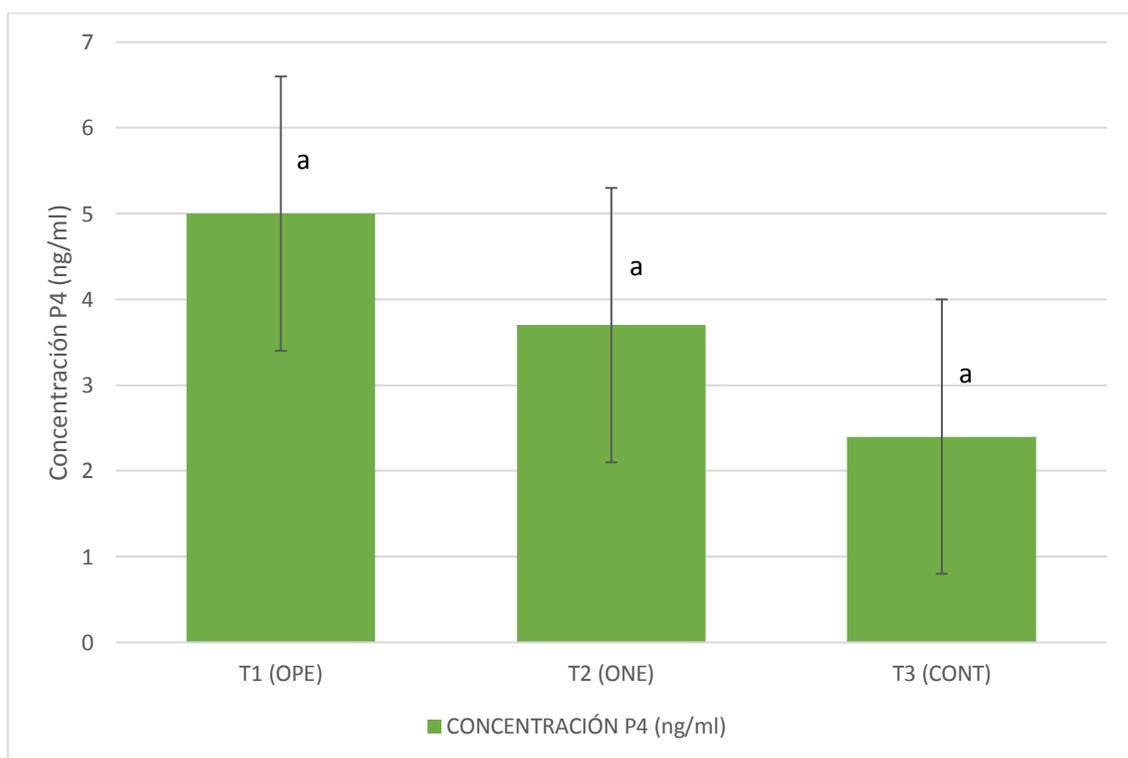


Figura 8. Concentración de P4 en cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (No existieron diferencias entre tratamientos; $P > 0.05$).

5.4 Tasa de implantación

Los valores de las medias mínimas cuadráticas de la tasa de implantación en cada grupo experimental fueron de: $83 \pm 18\%$; $57 \pm 16\%$; $14 \pm 16\%$ en los grupos

OPE, ONE y CONT, respectivamente (figura 9). Presentando diferencias significativas entre tratamientos ($P>0.05$).

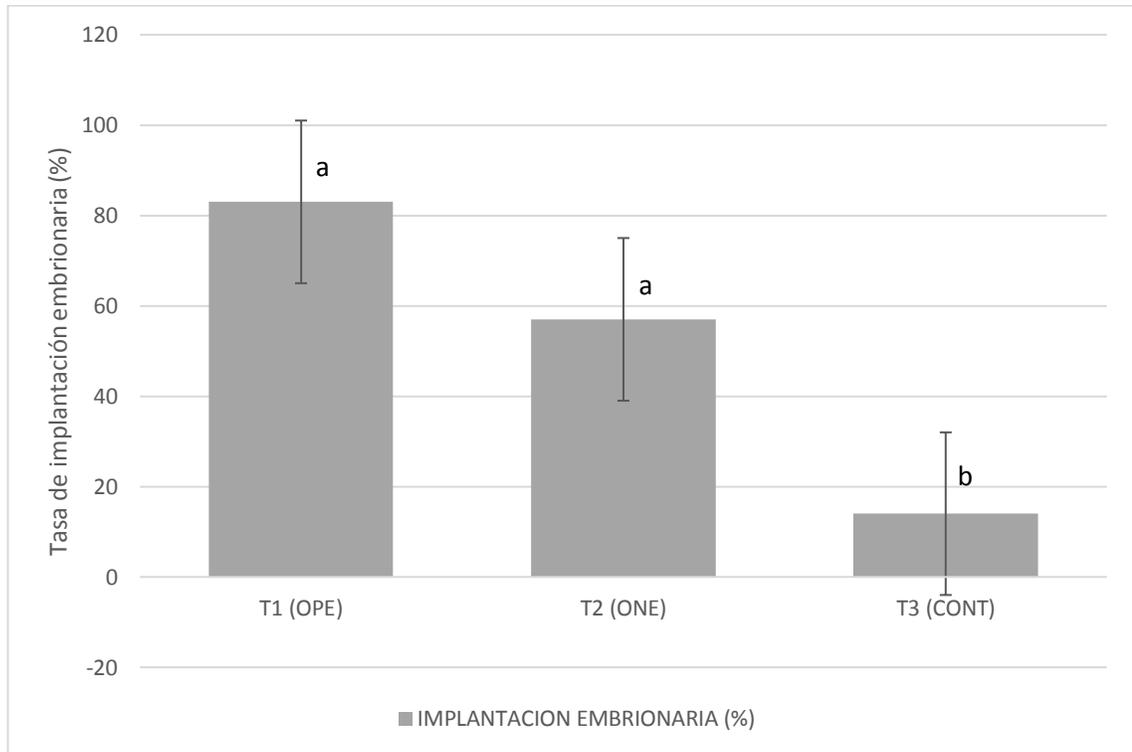


Figura 9. Tasa de implantación embrionaria en cabras alimentadas con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT). (Tratamientos con diferentes literales, denotan diferencias; $P<0.05$).

Los muestreos sanguíneos para la cuantificación de progesterona sérica se realizaron los días 20 y 30 de mayo, 10 y 20 de junio y 5 de julio, con la finalidad de observar el desarrollo del CL y secreción de P4 a lo largo del tiempo experimental. No existieron diferencias ($P>0.05$) en la secreción de P4 entre los grupos experimentales desde el inicio del periodo de empadre, hasta la cuantificación de la implantación embrionaria, teniendo un promedio de P4 para cada grupo evaluado a lo largo del tiempo de 4.02 ± 1.68 ng/ml; 2.95 ± 1.56 ng/ml

y 1.83 ± 1.56 ng/ml para los grupos OPE, ONE y CONT, respectivamente (Figura 10).

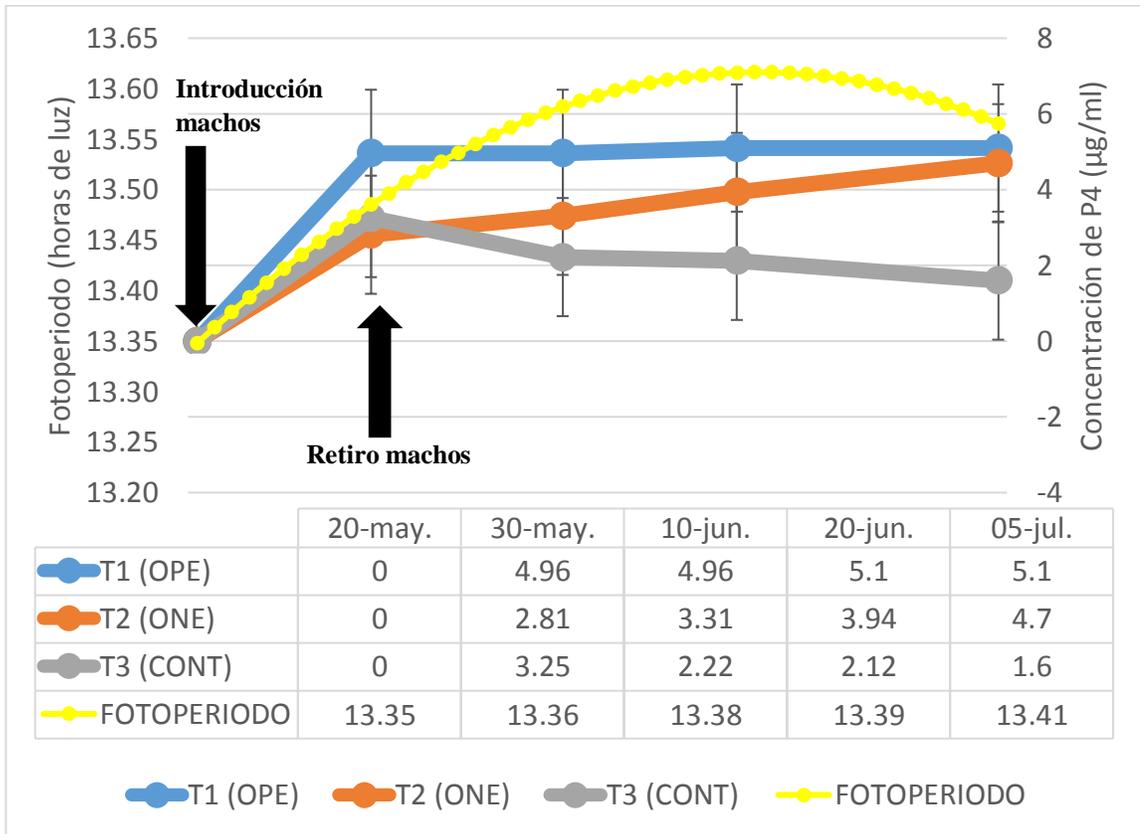


Figura 10. Concentración de P4 a lo largo del periodo experimental en los grupos con nopal enriquecido proteicamente (OPE), nopal no enriquecido (ONE) y grupo control (CONT).

(No existieron diferencias entre tratamientos; $P > 0.05$).

El resultado del análisis de las medias de mínimos cuadrados se presenta en el Cuadro 2, donde se aprecian las diferencias entre los grupos experimentales para las variables PV1, CC, PV30, DCL, P4TOT e IMPLANT. El DCL fue mayor en el grupo OPE en comparación con los demás grupos, sin embargo, esto no significó una variación en la secreción de P4. Aun así, el mayor porcentaje de IMPLANT

se observó en el grupo suplementado con *Opuntia* enriquecida proteicamente en contraste con los otros dos grupos experimentales.

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados con respecto a peso vivo (PV) inicial y final, condición corporal (CC), Diámetro de cuerpo lúteo, concentración de P4 y tasa de implantación embrionaria en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criolla) suplementadas con nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente (OPE), nopal normal (ONE) y sin suplemento (CONT). Las cabras fueron expuestas al efecto macho en condiciones de fotoperiodo natural de mayo-junio (anestro estacional) en condiciones de pastizal semiárido en el norte de México (26°LN). ⁽¹⁾

VARIABLES EVALUADAS	OPE (n=15)	ONE (n=15)	CONT (n=15)	ES ⁽²⁾	PROB ⁽³⁾
Peso Vivo Inicial (kg)	44.5 a	43.9 a	45.1 a	1.7	0.8
Condición corporal día 30 (unidades)	2.58 a	2.57 a	2.57 a	0.14	1
Peso Vivo día 30 (kg)	44.5 a	43.7 a	45.3 a	1.8	0.7
Diámetro cuerpo lúteo (mm)	1.66 a	0.92 ab	0.61 b	0.3	0.04
P4 total promedio (ng/ml)	5 a	3.7 a	2.4 a	1.6	0.5
Implantación (%)	83 a	57 a	14 b	18	0.01

(1) Literales diferentes en la misma fila indican diferencia significativa ($P>0.05$)

(2) Se presenta el error estándar más conservativo

(3) Nivel de probabilidad

VI. DISCUSIÓN

6.1 Efecto opuntia: Luteogénesis y secreción de progesterona

Nuestra hipótesis de estudio propuso un efecto positivo de la suplementación de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente sobre aspectos reproductivos en cabras anéstricas expuestas al efecto macho, considerando un posible incremento en el proceso de luteogénesis, una mayor secreción de progesterona y una mayor implantación embrionaria; los resultados obtenidos confirman parcialmente dicha hipótesis de trabajo. Rekik *et al.* (2012) y Sakly *et al.* (2014), han reportado efectos significativos de la suplementación de nopal sobre la tasa ovulatoria en ovejas. Por su parte, Meza-Herrera *et al.* (2017) no reportó diferencias significativas sobre la tasa de implantación embrionaria suplementando nopal proteicamente enriquecido en cabras anéstricas, difiriendo con nuestros resultados, los cuales fueron positivos. A la fecha (enero de 2018), no se han encontrado estudios con resultados significativos en bases de datos y revistas indexadas a nivel mundial sobre el efecto positivo de la suplementación de nopal sobre la luteogénesis, secreción de progesterona y la tasa de implantación embrionaria.

La luteogénesis es el proceso mediante el cual se forma y se desarrolla el cuerpo lúteo, una glándula secretora de P4 importante en el reconocimiento materno de la gestación. Rekik *et al.* (2012) mediante el efecto agudo de la suplementación con cladodios de nopal (<10 días) mejoró el número de cuerpos lúteos por oveja (1.7 por oveja), encontrando resultados significativos sobre la mejora en la tasa ovulatoria evaluada como número de cuerpos lúteos en hembras suplementadas

con nopal. Por su parte, Meza-Herrera *et al.* (2007), suplemento cabras en su ciclo ovárico normal con proteína de sobrepaso, no encontrando diferencias en el número de cuerpos lúteos y la secreción de progesterona. Nuestros resultados mostraron una relación no significativa entre el tamaño del CL y la concentración de progesterona entre los grupos evaluados.

Boscós *et al.* (2003) reportaron que al inicio de la gestación los niveles de concentración de P4 que requeridos para determinar la preñez es de 1.5 – 2.5 ng/mL. Niveles de P4 iguales o mayores a este rango son considerados como indicadores para la detección de la gestación en cabras. La hipótesis inicial de este estudio estableció una relación directa entre el diámetro del CL y la concentración plasmática de P4. El presente estudio encontró resultados no coincidentes con lo registrado por González de Bulnes *et al.* (2000), Ishak *et al.* (2017) y Tarso *et al.* (2017), los cuales reportan una correlación positiva entre el área del CL y las concentraciones plasmáticas de progesterona, aumentando en una tasa similar, en cabras, yeguas y vacas.

Mann (2009), reportó en bovinos que para el día 5 de la fase lútea, existe una relación positiva entre el tamaño de CL y la concentración plasmática de P4, sin embargo, conforme el CL alcanza su madurez, se pierde esa relación. De la misma forma, Salve *et al.* (2016) registraron un aumento gradual en la concentración de P4, siendo significativa la relación entre los días de la monta natural y 28 de la gestación, observando que las concentraciones más altas fueron entre los días 24 y 28 días de la gestación en cabras Sirohi. Battochio *et al.* (1999), mencionaron que la correlación entre el diámetro del CL y la

concentración plasmática de P4 solo es directa en las primeras etapas del desarrollo lúteo, dejando de ser significativa en los días 18 a 21 del ciclo estral. Los resultados del presente estudio muestran una relación no significativa entre el tamaño del CL y la secreción de P4, observando que un mayor crecimiento en el diámetro del CL no coincidió con un aumento significativo en la secreción de P4. De los resultados obtenidos en este estudio se puede inferir que la correlación existente entre el diámetro del CL y la secreción de P4 no es una relación necesariamente significativa y por ello el diámetro del CL no es un predictor preciso de la cantidad de secreción de progesterona en la gestación de las cabras, coincidiendo con trabajos como los de Veronesi *et al.* (2002) y Simoes *et al.* (2007).

La mejora de la secreción de hormonas involucradas en la reproducción mediante la suplementación de alimentos específicos se ha estudiado en animales domésticos (Meza-Herrera, 2008; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). Con relación a la suplementación de proteína, Dawuda, *et al.* (2004), no encontraron diferencias significativas en los niveles plasmáticos de progesterona entre grupos de vacas lecheras a las cuales se les suplemento nitrógeno rápidamente degradable (QDN), encontrando que el exceso de QDN no afectaba la secreción de P4 por parte del cuerpo lúteo y por consiguiente la maduración del endometrio durante el periodo de implantación. Los resultados encontrados en el actual estudio son similares, aunque observando un mayor tamaño del CL pero no una relación positiva con la secreción de P4. Los resultados de la suplementación de proteína de sobrepaso y su efecto sobre aspectos reproductivos pueden ser

inconsistentes (Meza-Herrera *et al.*, 2006), ya que dependen de diversos factores, como la variación en los patrones hormonales del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas o de hormonas como la progesterona o del desarrollo del folículo preovulatorio. En el presente estudio no hubo relación entre tamaño del CL y la secreción de P4. Sin embargo, Tarso *et al.* (2017), encontró relación entre la vascularidad de folículo pre-ovulatorio y el tamaño y la secreción de P4. De esta manera, la suplementación de nopal enriquecido proteicamente antes del empadre pudo contribuir a un mejor proceso de reclutamiento, dominancia y vascularización del folículo pre-ovulatorio, que pudiera favorecer el tamaño, pero no la secreción de P4 por parte del CL formado a partir de este.

6.2 Efecto Opuntia: Tasa de implantación embrionaria

La fase del reconocimiento materno y la implantación ocurren cuando el embrión está en forma de conceptus elongado, lo cual involucra un crecimiento exponencial de forma alargada. El interferón tau secretado por el conceptus es la señal mediante la cual se promueve el proceso de reconocimiento materno de la preñez (Dorniak *et al.*, 2014). Existe evidencia de que IFN-t no solo sirve como señal de reconocimiento de la preñez, sino que también, en conjunto con P4, influye en la expresión de genes que promueven un ambiente uterino que beneficie el desarrollo e implantación del conceptus. (Gao, *et al.*, 2009a). La tasa de implantación embrionaria obtenida en este trabajo fue de 83%, mayor en el grupo suplementado con nopal enriquecido proteicamente. Estos resultados son mayores a lo encontrado por Meza-Herrera *et al.* (2010, 2017) al hacer uso de una suplementación con alimentos proteicos.

En el presente estudio, no se observaron diferencias significativas entre la P4 secretada entre grupos experimentales, sin embargo, se registró una mayor tasa de implantación en el grupo de Opuntia enriquecida proteicamente. Dicho escenario fisiológico sugiere que la P4 secretada de manera normal y su liberación creciente al inicio de la gestación fueron suficientes para promover la síntesis de IFN-t por parte del conceptus, generando una mayor respuesta en la tasa de implantación en el grupo OPE, pudiendo ser resultado del efecto de la levadura que beneficia la actividad celulítica en el rumen, el flujo de proteína bacteriana duodenal y un aumento de ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente propionato (Erasmus *et al.*, 1992; Desnoyers *et al.*, 2009). En el mismo sentido, es factible que la levadura mejorara la asimilación de la fibra, ya que podría reducir la proporción de fibra detergente neutro (NFD) indigerible, promoviendo la acción de bacterias y hongos involucrados en la hidrólisis de los enlaces de lignina, un escenario previamente propuesto por Chaucheyras-Durand *et al.*, (2012).

Barnes (2000) propuso que la elevación de la progesterona en los días 1 al 5 después de la ovulación, sirve para promover la maduración del endometrio y acelerar el crecimiento del embrión en desarrollo. La P4 induce la producción de fluidos uterinos que contienen factores de crecimiento para el embrión. Forde *et al.* (2010) reportaron que la elevación en P4 entre los días 3 y 7 de la preñez se asocia con la expresión de genes que codifican la glucosa, mejorando el transporte de lípidos, la elongación, la implantación y la placentación del conceptus. En efecto, se ha observado que la expresión de genes ANPEPE,

CTGF, LPL, LTF y SLC5A1 en el epitelio glandular del endometrio afecta la composición de la leche uterina o histotrofo. Asimismo, Gao *et al.* (2009ab) reportaron que las expresiones de familias de transportadores de glucosa, transportadores de aminoácidos neutros (alanina, cisteína, serina y treonina) y ácidos (glutamato y aspartato) inducidas por P4 y estimuladas por IFN-t en el útero de ovinos apoyan el crecimiento y desarrollo del conceptus en la etapa de periimplantación. La alimentación ofrecida en el presente estudio pudo estimular la alineación en la secreción de hormonas que favorecieron la implantación en el grupo OPE.

Los perfiles de IGF-I también se ven afectados por los planos nutricionales en la fase de gestación temprana, desde el crecimiento folicular, la formación y desarrollo del CL (Zulu *et al.*, 2002), hasta las propiedades mitogénicas y diferenciadoras de IGF-I y IGF-II relacionadas en el desarrollo embrionario y placentación; incluyendo los factores IGFBP1 como un puente en la adhesión celular en LE endometrial y el conceptus, estimulando la migración y adherencia del trofoectodermo en el útero (Simmons *et al.*, 2009). El aporte nutricional del nopal enriquecido proteicamente, en combinación con pastizales de buena calidad y el mantenimiento del bienestar animal, pudo favorecer la expresión de genes de receptores y transportadores en el endometrio o una mayor síntesis de moléculas involucradas en el reconocimiento materno y la implantación embrionaria, como lo pueden ser las glicoproteínas del endometrio. Estos efectos pudieron tener lugar de manera local (en el endometrio) o paracrina (en el hígado); ya que según Ruhmann *et al.* (2017), el interferón tau (IFN-t) induce la

expresión de genes específicos de IFN-t (ISG) alrededor del día 18 de la preñez, no solo en las células del endometrio, sino también en células del hígado, suprimiendo la secreción de prostaglandinas (PGF2 α) y evitando la luteólisis; Por ello, el IFN-t puede modular el metabolismo hepático (síntesis y almacenamiento de proteínas y glucosa) en la preñez temprana y promover la síntesis de glicoproteínas que respalden la fase de reconocimiento materno. Sin embargo, para poder dilucidar un posible efecto de la suplementación con nopal enriquecido sobre los escenarios fisiológicos previamente planteados, se requiere de estudios adicionales que confirmen dicha posibilidad.

Papadopoulos *et al.* (2001), mencionaron que la suplementación de urea, antes y durante la preñez, debe hacerse con cautela, ya que no puede tener efecto sobre el ovocito antes de ovular y la calidad del embrión puede verse comprometida, no solo en la división celular; sino también en el establecimiento de un ambiente uterino adecuado para la implantación. Por lo tanto, la suplementación con proteína de sobrepeso debe realizarse con precaución en el periodo de empadre, ya que esta puede ocasionar una tasa de implantación baja debido a una acidificación del útero como consecuencia de la alta cantidad de proteína ofrecida, que a su vez ocasionará una menor secreción de interferón tau y de IGF-I; además de favorecer una mayor liberación de PGF2 α que compromete la fase de reconocimiento e implantación embrionaria (Meza-Herrera *et al.*, 2007).

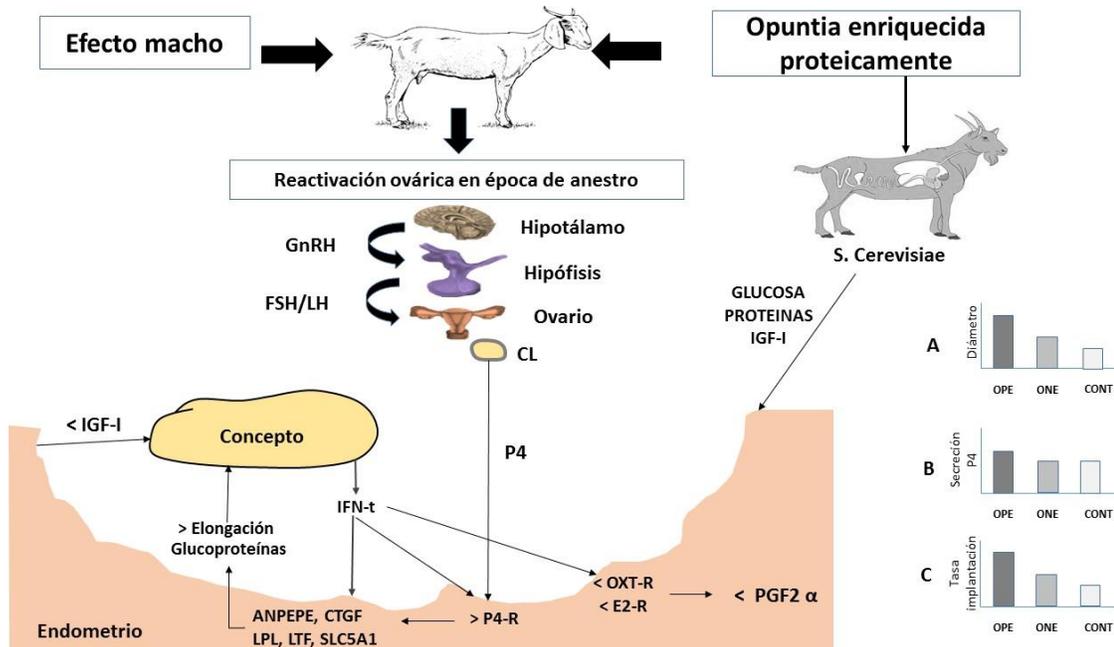


Figura 11. Resume grafico de los posibles efectos del nopal proteicamente enriquecido y el efecto macho sobre rutas potenciales de acción sobre el sistema reproductivo y, en turno, en el diámetro del CL, secreción de P4 y tasa de implantación embrionaria en cabras anéstricas el norte de México (26°LN). El efecto macho afectó positivamente la reactivación ovárica en las cabras, activando el eje Hipotálamo-Hipófisis-Gónadas (H-H-G) mediante la secreción de GnRH, FSH y LH. **A.** Se registró mayor diámetro de CL en el grupo OPE. Pudiendo ser debido a un mayor proceso de reclutamiento, dominancia y vascularización del folículo preovulatorio en la fase de suplementación. **B.** No hubo diferencias significativas en la secreción de P4 entre los grupos experimentales, por lo que el tamaño del CL no es un predictor de la secreción de P4 en cabras. **C.** La tasa de implantación embrionaria fue mayor en el grupo OPE; pudiendo ser debido a que la P4 secretada por el CL al inicio de la gestación y el IFN-t secretado por el conceptus, fueron suficientes para la expresión de genes involucrados en el proceso de reconocimiento materno (ANPEPE, CTGF, LPL, LTF y SLC5A1). Aunado a eso, mediante la acción del *S.cerevisiae*, se pudo tener una mejor asimilación de la fibra y mayor producción de AGV's, contribuyendo a una mejor síntesis de glucosa, proteína, IGF-I y otras hormonas metabólicas importantes en la síntesis de glucoproteínas por parte del endometrio que pudieran favorecer la implantación del conceptus.

Los resultados del presente estudio sugieren que la suplementación con nopal enriquecido proteicamente puede potencialmente incrementar el retorno económico en productores rurales de zonas áridas y semiáridas, ya que la caprinocultura y la presencia del nopal son predominantes en este tipo de agroecosistemas (González-Bulnes *et al.*, 2011). En el norte de México, y debido a la reproducción estacional que muestran las cabras, también se genera una oferta estacional tanto de cabrito como de leche (Meza-Herrera *et al.*, 2014). Mediante la aplicación de la práctica alimenticia evaluada en el presente estudio se estaría en posibilidad de adelantar la época de parición a los meses de agosto-septiembre (Salinas-González *et al.*, 2016). Practicando un cuidado del bienestar del animal aunado a una nutrición adecuada al estado fisiológico de la cabra, una sencilla proyección económica destaca la conveniencia de realizar la suplementación de nopal proteicamente enriquecido a contra-estación. En efecto, basados en los resultados obtenidos en este estudio, un empadre de 100 cabras suplementadas con opuntia enriquecido proteicamente a contra estación, generaría 83 cabritos nacidos, en comparación con solo 57 cabritos si solo se suplementara con nopal o 14 cabritos sin suplementación. Si consideramos un precio de venta de 500 pesos por cabrito, la proyección de dichos resultados al parto consideraría un ingreso económico potencial de \$41,500 pesos en el primer escenario respecto a \$28,500 y \$7,000 pesos en el segundo y tercer escenarios, respectivamente. Dichas proyecciones corresponden, a 1,878.71 € con respecto a 1,290.20 € ó 316.89 €, considerando los tres tratamientos, al tipo de cambio de nov/06/2017-Banco de México.

Sin duda alguna, futuros estudios deberán enfocarse a dilucidar los efectos de la suplementación de nopal enriquecido proteicamente sobre la secreción de hormonas reproductivas y metabólicas, síntesis de moléculas y expresión de genes que codifican el ensamble de receptores relacionados con el proceso de reconocimiento materno de la preñez y la implantación embrionaria a nivel molecular en el endometrio de la hembra caprina.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten aceptar parcialmente la hipótesis planteada al inicio del experimento, ya que la suplementación con nopal proteicamente enriquecido favoreció el desarrollo lúteo y la tasa de implantación embrionaria. Sin embargo, sin diferencias respecto a la síntesis de progesterona en cabras adultas expuestas al efecto macho en época de anestro.

Mientras que no existieron diferencias para peso vivo y condición corporal entre los grupos evaluados, resultados del estudio también demostraron que una mayor cantidad de tejido lúteo no implica necesariamente un incremento en los niveles séricos de progesterona.

Sin embargo, la mayor tasa de implantación embrionaria observada en el grupo nopal enriquecido, no se puede descartar la posibilidad de una mayor activación de genes que codifican el ensamble de receptores a progesterona. Investigaciones futuras deben enfocarse a dilucidar los efectos del nopal enriquecido proteicamente sobre aspectos metabólicos, proteómicos y génicos involucrados en el proceso del reconocimiento materno de la preñez y la implantación embrionaria.

Los resultados de este trabajo presentan al nopal proteicamente enriquecido como una estrategia de suplementación alternativa con la cual:

- Se favorecen los procesos reproductivos en el animal, fomentando una producción (cabrito-leche) mejor distribuida en el año bajo un contexto

“limpio, verde y ético”, con beneficios potenciales para el productor, el industrializador y el consumidor.

- Alternativamente, se destaca el papel del nopal como un cultivo viable en la estrategia de mitigación del cambio climático, debido a su alto potencial en el secuestro de carbono.
- Potencialmente favorecería el desarrollo socioeconómico de caprinocultores asentados en las regiones áridas y semiáridas donde estas especies, cabra y nopal, son abundantes.
- Lo anterior permitiría una mayor derrama económica y mejoramiento del entorno ambiental que beneficien la calidad de vida del caprinocultor y su familia.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abidi, S., Ben Salem, H., Martín-García, A.I. y Molina-Alcaide, E. (2009). Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Animal Feed Science and Technology*. 149(3-4): 333-340.
- Adib A., Fereret S., Touze J-L., Lomet D., Lardic L. Chesneau D. Estienne A., Papillier P., Monniaux D., Pellicer-Rubio M.T. (2014). Progesterone improves the maturation of male-induced preovulatory follicles in anoestrous ewes. *Journal of Reproduction and Fertility*. 148(4): 403-416.
- Agudelo, S.I. (2001). Concentraciones de cortisol, fusión del cuerpo lúteo y presentación de abortos en cabras sometidas a una restricción alimenticia aguda. (Tesis de Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX. México.
- Arechiga, C.F., J.I. Aguilera, R.M. Rincón, S. Mendez de Lara, V.R. Bañuelos and C.A. Meza-Herrera. (2008). Role and perspectives of goat production in a global world. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9:1-14.
- Arellano-Rodriguez, G., Meza-Herrera, C.A., Rodríguez-Martinez, R., Dionisio-Tapia, R., Hallford, D.M., Mellado, M., y Gonzalez-Bulnes, A. (2009). Short-term intake of B-carotene supplemented diets enhances ovarian function and progesterone synthesis in goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 93(6):710-715.
- Azzas, H.H., Morsey, T.A. y Murad, H.A. (2016). Microbial feed supplements for ruminant's performance enhancement. *Asian Journal of Agricultural Research*. 10(1): 1-14.
- Barnes, F.L. (2000). The effects of the early uterine environment on the subsequent development of embryo and fetus. *Theriogenology*. 53: 649-658.

- Battochio, M., Gabai, G., Mollo, A., Veronesi, M.C., Soldano, F., Bono, G. y Cairoli, F. (1999). Agreement between ultrasonographic classification of the CL and plasma progesterone concentration in dairy cows. *Theriogenology*. 51(6): 1059-1069.
- Bazer, F.W., Wu, G. y Johnson, G.A. (2017). Pregnancy Recognition signals in mammals: the roles of interferons and estrogens. *Animal Reproduction*. 14(1): 7-29.
- Bedos, M., Portillo, W., Dubois, J.P., Duarte, G., Fores, J.A., Chemineau, P., Keller, M., Paredes, R.G. Y Delgadillo, J.A. (2016). A high level of male sexual activity is necessary for the activation of the medial preoptic área and the arcuate nucleus during the “male effect” in anestrus goats. *Physiology and Behavior*. 165: 173-178.
- Ben Salem, H. y Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*. 77(2-3): 174-194.
- Boscos, C.M., Samartzi, F.C., Lymberopoulos A.G., Stefanakis, A. y Belibasaki, S. (2003). Assessment of progesterone concentration using enzymeimmunoassay, for early pregnancy diagnosis in sheep and goats. *Reproduction in Domestic Animals*. 38(3): 170-174.
- Brackel-Bodenhausen A.Von., Wuttke W., Holtz W. (1994). Effects of photoperiod and slow-release preparations of bromocryptine and melatonin on reproductive activity and prolactin secretion in female goats. *Journal of Animal Science*. 72(4): 955-962.
- Brooks, K., Burns, G., y Spencer, T. (2014). Concepto elongation in ruminants: roles of progesterone, prostaglandin, interferón tau and cortisol. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 5(1): 53.
- Calderon-Leyva, M.G., Meza-Herrera, C.A., Rodriguez-Martinez, R., Angel-García, O., Rivas-Muñoz, R., Delgado-Bermejo, J.V., Veliz-Deras, F.G. 2018. Influence of sexual behavior of Dorper rams treated with glutamate and/or testosterone on reproductive performance of anovulatory ewes. *Theriogenology*. 106(1):79-86.

- Carrillo, E., Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G. (2010). Reproductive seasonality of young French-Alpine goat bucks adapted to subtropical conditions in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(2):169-178.
- Costa, R.G., Filho, E.M.B., Medeiros, A.N., Givisiez, P.E.N., Queiroga, R.C.R.E. y Melo, A.A.S. (2009). Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. *Small Ruminant Research*. 82(1): 62-65.
- Costa, R.G., Filho, E.M.B., Queiroga, R.C.R.E., Madruga, M.S., Medeiros, A.N. y Oliveira, C.J.B. (2010). Chemical composition of milk from goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in substitution to corn meal. *Small Ruminant Research*. 94(1-3): 214-217.
- Chaucheyras-Durand, F. Chevaux, E., Martin C. y Forano, E. (2012). Use of yeast probiotics in ruminants: effects and mechanisms of action on rumen pH, fibre degradation and microbiota according to the diet. Chapter 7. In: Rigobelo, E.C. Editor. *Probiotic in Animals*. Publisher: InTech. <https://www.intechopen.com/books/probiotic-in-animals>
- Chemineau, P. (1987). Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrus cycles in anovulatory goats: a review. *Livestock Production Science*. 17: 135-147.
- Chemineau, P. y Delgadillo, J.A. (1993). Neuroendocrinología de la reproducción en el caprino. *Revista Científica*. 3(2) 113-121.
- Chemineau, P., Malpoux, B., Delgadillo, J.A., Guerin, Y., Ravault, J.P., Thimonier, J., Pelletier, J., (1992). Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. *Animal Reproduction Science*. 30(1-3), 157-184
- Chemineau, P., Normant, E., Ravault, J.P. y Thimonier, J. (1986). Induction and persistence of pituitary and ovarian activity in the out-of-season lactating dairy goat after a treatment combining a skeleton photoperiod, melatonin and the male effect. *Journal of Reproduction and Fertility*. 78(2): 497-504.

- Chemineau, P., Pellicer-Rubio, M.T., Lassoued, N., Khaldi, G., Monniaux, D. (2006). Male-induced short oestrus and ovarian cycles in sheep and goats: a working hypothesis. *Reproduction, Nutrition, Development*. 46(4): 417-429.
- Dawuda, P.M., Scaramuzzi, R.J., Drew, S.B., Biggadike, H.J., Laven, R.A., Allison, R., Collins, C.F., Wathes, D.C. (2004). The effect of a diet containing excess quickly degradable nitrogen (QDN) on reproductive and metabolic hormonal profiles of lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*. 81(3-4):195-208.
- Delgadillo, J.A. Flores, J.A., Véliz, F.G., Duarte, G., Vielma, J., Hernandez, H. y Fernandez, I.G. (2006). Importance of the signal provided by the buck for the success of the male effect in goats. *Reproduction, Nutrition, Development*. 46(4):391-400.
- Delgadillo, J.A., Ungerfeld, R., Flores, J.A., Hernández, H., y Fitz-Rodríguez, G. (2011). The ovulatory response of anoestrus goats exposed to the male effect in the subtropics is unrelated to their follicular diameter at male exposure. *Reproduction in Domestic Animals*. 46 (4): 687-691.
- Denev, S.A., Peeva, T., Radulova, P., Stancheva, N., Staykova, G., Beev, G., Todorova, P. y Tchobanova, S. (2007). Yeast cultures in ruminant nutrition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 13: 357-374.
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C. y Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*. 92(4): 1620-1632.
- De Santiago-Miramontes, M.A., J.R. Luna-Orozco, C.A. Meza-Herrera, R. Rivas-Muñoz, E. Carrillo, G. Veliz-Deras, M. Mellado. (2011). The effect of flushing and stimulus of estrogenized does on reproductive performance of anovulatory-range goats. *Tropical Animal Health and Production*. 43(8):1595-1600.

- Dickie A., Paterson M.M., Anderson C., Boyd J.S. (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., Li, Q., Li, B., Zhang, G., Xu, X., Kijas, J.W., Salekdeh, G.H., Wang, W. y Jiang, Y. (2015). Reference genome of wild goat (*Capra aegagrus*) and sequencing of goat breeds provide insight into genic basis of goat domestication. *BMC Genomics*. 1116:431.
- Dorniak, P., Bazer, F.W. y Spencer, T.E. (2014). Physiology and endocrinology symposium: Biological role of interferón tau in endometrial function and concepto elongation. *Journal of Animal Science*. 91:1627-1638.
- Downing, J.A., Joss, J., Conell, P. y Scaramuzzi, R.J. (1995). Ovulation rate and the concentrations of gonadotrophic and metabolic hormones in ewes fed lupin grain. *Journal of Reproduction and Fertility*. 103(1): 137-145.
- Dupont, J., Scaramuzzi, R.J. y Reverchon, M. (2014). The effect of nutrition and metabolic status on the development of follicles, oocytes and embryos in ruminants. *Animal*. 8(7): 1031-1044.
- El-Ghani, A.A.A. (2004). Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats. *Small Ruminant Research*. 52(3): 223-229.
- Erasmus, L.J., Botha, P.M. y Kistner, A. (1992). Effect of yeast culture supplement on production, rumen fermentation, and duodenal nitrogen flow in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 75(11), 3056-3065.
- Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J. y Meza-Herrera, C. (2013). Dairy goat production system. *Topical Animal Health Production*. 45(1): 17-34.
- FAOSTAT. (2016). Estadísticas. Consultado el día 30 de dic de 2016 en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E>

- Findlay, J.K., Kerr, J.B., Britt, K., Liew, S.H., Simpson, E.R., Rosairo, D., Drummond, A. (2009). Ovarian physiology: follicle development, oocyte and hormone relationships. *Animal Reproduction*. 6(1):16-19.
- Flores-Nájera M.J., Meza-Herrera C.A., Echavarría F.G., Villagomez E. Iñiguez, L., Salinas H., González-Bulnes A. (2010). Influence of nutritional and socio-sexual cues upon reproductive efficiency of goats exposed to the male effect under extensive conditions. *Animal Production Science*. 50: 897-901.
- Flores, V.C.A. y Aranda, O.G. (1997). Opuntia based ruminant feeding systems in Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2:3–9.
- Fonty, G., y Chaucheyras-Durand, F. (2006). Effects and modes of action of live yeast in the rumen. *Biología*. 61(6):741-750.
- Forde, N., Spencer, T.E., Bazer, F.W., Song, G., Roche, J.F. y Lonergan, P. (2010). Effect of pregnancy and progesterone concentration on expression of genes encoding for transporters or secreted proteins in the bovine endometrium. *Physiological Genomics*. 41(1): 53-62.
- Fraser, H.M. y Wulff, C. (2003). Angiogenesis in the corpus luteum. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 1: 1-8.
- Gamez-Vazquez, H.G., C.A. Rosales-Nieto, R. Bañuelos-Valenzuela, J. Urrutia-Morales, M.O. Diaz-Gomez, J.M. Silva-Ramos and C.A. Meza-Herrera. (2008). Body condition score positively influence plasma leptin concentrations in criollo goats. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7(10):1237-1240.
- Gamez-Vazquez, H.G., Urrutia-Morales, J., Rosales-Nieto, C.A., Meza-Herrera, C.A., Echavarría-Chairez, F.G., Beltran-Lopez, S. (2018). *Tillandsia recurvata* and its chemical value as an alternative use for feeding ruminants in northern Mexico. *Journal of Applied Animal Research*. 46(1): 295-300.

- Gao, H., Wu, G., Spencer, T.E., Johnson, G.A. y Bazer, F.W. (2009a) Select nutrients in the ovine uterine lumen. II. Glucose transporters in the uterus and peri-implantation conceptus. *Biology of Reproduction*. 80(1): 94-104.
- Gao, H., Wu, G., Spencer, T.E., Johnson, G.A. y Bazer, F.W. (2009b) Select nutrients in the ovine uterine lumen. IV. Expression of neutral and acidic amino acid transporters in ovine uteri and peri-implantation conceptuses. . *Biology of Reproduction*. 80(6):1196-1208
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. 5ta Edición Digital. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México: México, Pp. 20, 50.
- Guerra-García, M., C.A. Meza-Herrera, M.T. Sanchez-Torres-Esqueda, J. Gallegos-Sanchez, G. Torres-Hernandez and A. Pro-Martinez. 2009. IGF-1 and ovarian activity of goats in divergent body condition and supplemented with non-degradable ruminal protein. *Agrociencia*. 43(3): 241-247.
- González de Bulnes, A., Santiago, M.J., Gómez, B.A., y López, S.A. (2000). Relationship between ultrasonographic assessment of the corpus luteum and plasma progesterone concentration during the oestrous cycle in monovular ewes. *Reproduction in Domestic Animals*. 35(2): 65-68.
- González-Bulnes, A., Carrizosa, J.A., Urrutia, B., y López-Sebastián, A. (2006). Oestrus behavior and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reproduction, Fertility and Development*. 18(7):745-750.
- González-Bulnes, A., Meza-Herrera, C.A., Rekik, M., Ben Salem, H., Kridli, R.T. (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.

- Guevara, J.C., Suassuna, P. y Felker, P. (2009). Opuntia forage production systems: status and prospects for rangeland application. *Rangeland Ecology and Management*. 62(5): 428-434.
- Gusha, J., Halimani, T.E., Ngongoni, N.T. y Ncube, S. (2015a). Effect of feeding cactus-legume silage on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. *Animal Feed Science and Technology*. 206:1-7.
- Gusha, J., Halimani, T.E., Katsande, S. y Zvinorova, P.I. (2015b). The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goats productivity in smallholders sector in Zimbabwe. *Small Ruminant Research*. 125:21-25.
- Hafez, E.S.E. y Hafez, B. (2000). Reproducción e inseminación artificial en animales. México, McGraww Hill-Interamericana. 519 pp.
- Haldar, C. y Ghosh, S. (2015). Dynamics and regulation of goat reproduction. *International Journal of Current Research and Academic Review*. 3(8):20-36.
- Ishak, G.M., Bashir, S.T., Gastal, M.O. y Gastal, E.L. (2017). Pre-ovulatory follicle affects corpus luteum, diometer, blood flow and progesterone production in mares. *Animal Reproduction Science*. 187: 1-12.
- López-Flores, N.M., Meza-Herrera, C.A., Galán-Soldevilla, C., Bautista-Rodriguez, D.A., Veliz-Deras, F.G., Arellano-Rodriguez, G., García-De la Peña, C., Rosales-Nieto, C.A., Macías-Cruz, U. 2018. The key role of targeted betacarotene supplementation upon endocrine and reproductive outcomes in goats: follicular development, ovulation rate & the GH-IGF-1 axis. *Small Ruminant Research*. In press.
- Luna-Orozco J.R., Guillen-Muñoz J.M., De Santiago-Miramontes M.A., García J.E., Rodríguez-Martínez R., Meza-Herrera C.A., Mellado M., Veliz F.G. (2012). Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production* 44: 71-75.

- Mann, G.E. (2009) Corpus luteum size and plasma progesterone concentration in cows. *Animal Reproduction Science*. 115(1-4): 296-299.
- Martin, G.B. Y Kadokawa, H. (2006). "Clean, Green and Ethical" animal production. Case study: Reproductive efficiency in small ruminants. *Journal of Reproduction and Development*. 52(1): 145-152.
- Martin, G.B., Milton, J.T.B., Davison, R.H., Banchemo-Hunzicker, G.E., Lindsay, D.R. y Blache, D. (2004). Natural methods for increasing reproductive efficiency in small ruminants. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 231-245.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R. (2000). Rheological propertis ofthe mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*. 14(5): 417-424.
- Mellado, M. (1997). La cabra criolla en América Latina. *Veterinaria México*. 28(4): 333-343.
- Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Arevalo, J.R., De Santiago-Miramontes, M., Rodriguez, A., Luna-Orozco, J.R., y Veliz-Deras, F.G. (2011). Relationship between litter birth weight and litter size in five goat genotypes. *Animal Production Science*. 51(2):144-149.
- Mellado J., Veliz F.G., De Santiago A., Meza-Herrera C., Mellado M. (2014). Buck-induced estrus in grazing goats during increasing photoperiod and under cold stress at 25°N. *Veterinarija ir Zootechnika*. 66(88): 40-45.
- Meza-Herrera, C.A. (2008). Reglulatory mechanisms of puberty in female goats: Recent concepts. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 9:29-38.
- Meza-Herrera, C.A. (2012). Puberty, kisspeptin and glutamate: A ceaseless golden braid. In: *Advances in Medicine and Biology*. Ed: Berhardt L.V. Nova Science Publishers Inc. Hauppauge, NY, USA., Vol. 52, Chapter 3, p 97-124. ISBN: 978-1-62081-314-0.
- Meza-Herrera, C.A., Sánchez, J.M., Chavez-Perches, J.G., Salinas, H., Mellado, M. (2004). Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. *South African Journal of Animal Science*. 34(Suppl. 1): 223-226.

- Meza-Herrera, C.A., Ross, T., Hawkins, D., y Hallford, D. (2006). Interactions between metabolic status, pre-breeding protein supplementation, uterine pH, and embryonic mortality in ewes: Preliminary observations. *Tropical Animal Health and Production*. 38(5):407-413.
- Meza-Herrera, C.A., Ross, T., Hallford, D., Hawkins, D. y Gonzalez-Bulnes, A. (2007). Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*. 42(5). 461-465.
- Meza-Herrera, C.A., González-Bulnes, A., Kridli, R.T., Mellado, M., Arechiga-Flores, C.F., Salinas, H., y Luginbuhl, J.M. (2010). Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. *Reproduction in Domestic Animals*. 45(6).
- Meza-Herrera, C.A., Ross, T.T., Hallford, D.M., Hawkins, D.E., Gonzalez-Bulnes A. (2010). High periconceptional protein intake modifies uterine and embryonic relationships increasing early pregnancy losses and embryo growth retardation in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*. 45(4): 723-728.
- Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G., Wurzinger, M., Lopez-Ariza, B., Arellano-Rodriguez, G., y Rodriguez-Martinez, R. (2010). The kiss-1, kisspeptin, gpr-54 complex: A critical modulator of GnRH neurons during pubertal activation. *Journal of Applied Biomedicine*. 8(1):1-9.
- Meza-Herrera, C.A., Hernandez-Valenzuela, L.C., Gonzalez-Bulnes, A., Tena-Sempere, M., Abad-Zavaleta, J., Salinas-Gonzalez, H., Mellado, M., y Veliz-Deras, F.G. (2011). Long-term betacarotene-supplementation enhances serum insulin concentrations without effect on the onset of puberty in the female goat. *Reproductive Biology*. 11(3):236-249.
- Meza-Herrera, C.A., Torres-Moreno, M., Lopez-Medrano, J.I., Gonzalez-Bulnes, A., Veliz, F.G., Mellado, M., Wurzinger, M., Soto-Sanchez, M.J., y Calderon-Leyva, M.G. (2011). 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. *Animal Reproduction Science*. 125(1-4):74-80.

- Meza-Herrera, C.A. y Tena-Sempere, M. (2012). Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: Astiz S., Gonzalez-Bulnes A., Editors. Animal Reproduction in livestock, encyclopedia of life support systems (EOLSS), developed under the auspices of the UNESCO. Oxford, UK: Eolss Publishers. <http://www.eolss.net>.
- Meza-Herrera, C.A., F. Vargas-Beltrán, M. Tena-Sempere, A. Gonzalez-Bulnes, U. Macias-Cruz, F.G. Veliz-Deras. (2013). Short-term betacarotene supplementation positively affects ovarian activity and serum insulin concentrations in a goat model. *Journal of Endocrinological Investigation*. 36(3):185-189.
- Meza-Herrera, C. A., F. Vargas-Beltrán, H. Vergara-Hernandez, U. Macias-Cruz, L. Avendaño-Reyes, R. Rodriguez-Martinez, G. Arellano-Rodriguez, F.G. Veliz-Deras. (2013). Betacarotene supplementation increases ovulation rate without an increment in LH secretion in cyclic goats. *Reproductive Biology*. 13(3):51-57.
- Meza-Herrera, C.A., González-Velázquez, A., Veliz-Deras, F.G., Rodríguez-Martínez, R., Arellano-Rodríguez, G., Serradilla, J.M., García-Martínez, A., Avendaño-Reyes, L. y Macías-Cruz, U. (2014). Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cyclic adult goats. *Reproductive Biology*. 14(4):298-301.
- Meza-Herrera, C.A., Calderon-Leyva, G., Soto-Sanchez, M.J., Serradilla, J.M., Garcia-Martinez, A., Mellado, M., y Veliz-Deras, F.G. (2014). Glutamate supply positively affects cholesterol concentrations without increases in total protein and urea around the onset of puberty in goats. *Animal Reproduction Science*. 147(3-4):106-111.
- Meza-Herrera, C.A., Serradilla, J.M., Muñoz-Mejias, M. E., Baena-Manzano, F. y Menendez-Buxadera, A. (2014). Effect of breed and some environmental factors on body weights till weaning and litter size in five goat breeds in Mexico. *Small Ruminant Research*. 121(2-3), 215-219.

- Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Velazquez, A., Veliz-Deras, F.G., Rodriguez-Martinez, R., Arellano-Rodriguez, G., Serradilla, J.M., Garcia-Martinez, A., Avendaño-Reyes, L., y Macias-Cruz, U. (2014). Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cycling adult goats. *Reproductive Biology*. 13(4):298-301.
- Meza-Herrera, C.A., Reyes-Ávila, J.M., Tena-Sempere, M., Veliz-Deras, F.G., Macias-Cruz, U., Rodriguez-Martinez, R., y Arellano-Rodriguez, G. (2014). Long-term betacarotene supplementation positively affects serum triiodothyronine concentrations around puberty onset in female goats. *Small Ruminant Research*. 116(2-3):176-182.
- Meza-Herrera, C.A., Vicente-Pérez, A., Osorio-Marín, Y., Girón-Gómez, B.S., Beltrán-Calderón, E., Avendaño-Reyes, L., Correa-Caldeón, A., y Macías-Cruz, U. (2015). Heat stress, divergent nutrition level and late pregnancy in hair sheep: Effects upon cotyledon development and litter weight at birth. *Tropical Animal Health and Production*. 47(5):819-824.
- Meza-Herrera, C.A., Cano-Villegas, O., Flores-Hernández, A., Veliz-Deras, F., Calderón-Leyva, G., Guillen-Muñoz, J.A., García de la Peña, C., Rosales-Nieto, C.A., Macías-Cruz, U. y Avendaño-Reyes, L. (2017). Reproductive outcomes of anestrus goats supplemented with spineless *Opuntia megacantha* Salm-Dick protein-enriched cladodes and exposed to the male effect. *Tropical Animal Health and Production*. 49(7), 1511-1516.
- Meza-Herrera, C.A., Pacheco-Alvarez, P., Castro, O.E. Macias-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Mellado, M., Veliz-Deras, F.G., Contreras-Villarreal, V., Abad-Zavaleta, J., Rodriguez-Martinez, R., y Arellano-Rodriguez, G. (2017). Betacarotene supplementation positively affects selected blood metabolites across time around the onset of puberty in goats. *Czech Journal of Animal Science*. 62: 22-31.
- Montaldo, H.H., Torres-Hernández, G. y Valencia-Posadas, M. (2010). Goat breeding research in México. *Small Ruminant Research*. 89: 155-163.

- Montemayor, P.S. (1984). Historia de la ganadería en México. Tomo 1. UNAM. México. 325 pp.
- Morand-Fehr, P., Boutonnet, J.P., Devendra, C., Dubeuf, J.P., Haenlein, G.F.W., Holst, P., Mowlem, L. y Capote, J. (2004). Strategy for goat farming in the 21st century. *Small Ruminant Research*. 51: 175-183.
- Naderi, S., Rezaei, H.-R., Pompanon, F., Blum, M.G.B., Nigrini, R., Naghash, H.-R., Balkiz, Ö., Mashkour, M., Gaggiotti, O.E., Ajmone-Marsan, P., Kence, A., Vigne, J.-D. y Taberlet, P. (2008). The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *PNAS*. 105(46): 17659-17664.
- Newbold, C.J., Wallace, R.J., y McIntosh, F.M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *The British Journal of Nutrition*. 76(2): 249-261.
- NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., Pérez-Sánchez, R. Roman-Bravo, R.M. y Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus interval. *Tropical Animal Health and Production*. 49(5): 1025-1033.
- Özsoy, B. Yalçın, Erdoğan, Z., Cantekin, Z., Aksu, T. (2013). Effects of dietary live yeast culture on fattening performance on some blood and rumen fluid parameters in goats. *Revue de Médecine Veterinaire*. 164(5): 236-271.
- Papadopoulos, S., Lonergan, P., Gath, V., Quin, K.M., Evans, A.C.O., Callaghan, D.O. y Boland, M.P. (2000). Effect of the diet quantity and urea supplementation on oocyte and embryo quality in sheep. *Theriogenology*. 55(5):1059-1069.
- Qiu, M., Liu, J. Han., C., Wu, B., Yang, Z., Su, F., Quan, F., Zhang, Y. (2014). The influence of ovarian stromal/theca cells during in vitro culture on steroidogenesis, proliferation and

- apoptosis of granulosa cells derived from the goat ovary. *Reproduction in Domestic Animals*. 49(1):170-176.
- Rajaravindra, K.S., Das, P.J., Sukumar, K., Ghosh, S.K., Mitra, A. (2008). Molecular characterization of novel variants of interferón-tau (IFNT) gene in Garole breed of sheep (*Ovis aries*). *Animal Reproduction Science*. 104 (2-4): 238-247.
- 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 semiarid regions? *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96(2): 242-249.
- Rincón-Delgado, R.M., Aréchiga, C.F., Escobar, F.J., Silva, J.M., Aguilera-Soto, J.I., López-Carlos, M.A., Rodríguez, H, Meza-Herrera, C.A. y Valencia J. (2011) El estímulo del macho cabrío incrementa la función reproductiva de las cabras criollas del semidesierto mexicano independientemente del régimen de fotoperiodo. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 27(Edición especial): 147-161.
- Roberts, M.R., Chen, Y., Ezashi, T., Walker, A.M. (2008). Interferons and the maternal-concepto dialog in mammals. *Seminars in Cell and Development Biology*. 19(2): 170-177.
- Romano, J.E., Alkar, A., Fuentes-Hernández, V.O., Amstalden, M. (2016). Continuous presence of male on estrus onset, estrus duration, and ovulation in estrus-synchronized Boer goats. *Theriogenology*. 85(7): 1323-1327.
- Rosales-Nieto C.A., Gamez-Vazquez H.G., Gudino-Reyes J. Reyes-Ramirez E.A., Eaton M., Stanko R.L., Meza-Herrera C.A., Gonzalez-Bulnes A. (2011). Nutritional and metabolic modulation of the male effect on the resumption of ovulatory activity in goats. *Animal Production Science*. 51(2): 115-122.
- Ruhmann, B., Giller, K., Hankele, A.K., Ulbrich, S.E., Schmicke, M. (2017). Interferon-Tau induced gene expression in bovine hepatocytes during early pregnancy. *Theriogenology*. 31(104):198-204.

- Rzedowski J. (2006). Vegetación de México. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 253-165.
- Salinas-González H., Meza-Herrera, C.A., Escareño-Sánchez, L.M., Echavarría-Chairez, F., Maldonado-Jáquez, J.A. y Pastor-López, F.J. (2015). Sistemas de producción caprinos carne-leche: Tendencias productivas en México y el mundo. In: Enfermedades de las cabras. Ed. E. Díaz-Aparicio, J.L. Tórotora-Pérez, E.G. Palomares-Resendiz, J.L. Gutierrez-Hernández. SAGARPA, INIFAO-CENID-MA. México, DF, p. 3-22. ISBN: 978-607-37-0411-3.
- Salinas-González, H., Moysen, V.E.D., De Santiago Miramontes, M. A., Veliz, D.F.G, Maldonado, J.J.A., Velez, M.LI., Torres, H.D., Requejo, L.M.I, Figueroa, V.U. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*. 41(11), 763-768.
- Salve, R.R., Ingole, S.D., Nagvekar, A.S., Bharucha, S.V. y Dagli, N.R. (2016). Pregnancy associated protein and progesterone concentrations during early pregnancy in Sirohi goats. *Small Ruminant Research*. 141: 45-47.
- Sakamoto, K., Wakabayashi, Y., Yamamura, T., Tanaka, T., Takeuchi, Y., Mori, Y., Okamura, H. (2013). A population of kisspeptin/neurokinin B neurons in the Arcuate nucleus may be the central target of the male effect phenomenon in goats. *PLoS One*. 8(11): e81017.
- Sakly C., Rekik M., Ben Salem I., Lassoued N., Gonzalez-Bulnes A., Ben Salem H. (2014). Reproductive responses of fat-tailed Barbarine ewes subjected to short-term nutritional treatments including spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 98(1): 43-49.
- Scaramuzzi, R.J., Campbell, K., Downing, J.A., Kendall, N.R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M. y 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(4): 339-354.
- Scaramuzzi, R.J., y Martin, G.B. (2008). The importance of interaction among nutrition. Seasonality and sociosexual factors in the development of hormone-free methods for controlling fertility. *Reproduction in Domestic Animals*. 43(Suppl. 2): 129-136.
- SIAP. (2016). Caprino. Población Ganadera 2004-2014. Recuperado el día 21 de abril de 2016 de: <http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>
- Simmons, R.M., Erikson, D.W., Kim, J., Burghardt, R.C., Bazer, F.W., Johnson G.A., Spencer, T.E. (2009). Insuline-Like Growth factor binding protein-1 in the ruminant uterus: potential endometrial marker and regulator of concepto. *Endocrinology*. 150(1): 4295-4305.
- Simoës, J., Almeida, J.C., Baril, G., Azevedo, J., Fontes, P. y Mascarenhas, R. (2007). Assesment of luteal function by ultrasonographic appearance and measurement of corpórea lutea in goats. *Animal Reproduction Science*. 97(1): 36-46.
- Somchit-Assavacheep, A. (2011). Influence of nutritional management on folliculogenesis in ewes. *The Thai Journal of Veterinary Medicine Supplement*. 41: 25-29.
- Stella, A.V., Paratte, R., Valnegri, L., Cigalino, G., Soncini, G., Chevaux, E., Dell'Orto V. y Savoini, G. (2007). Effect of administration of live *Saccharomyces cerevisiae* on milk production, milk composition, blood metabolites, and production faecal floral in early lactating dairy goats. *Small Ruminant Research*. 67(1): 7-13.
- Tarso, S.G.S., Gastal, G.D.A., Bashir, S.T., Gastal, M.O., Apgar, G.A. y Gastal, E.L. (2017). Follicle vascularity coordinates corpus luteum blood flow and progesterone production. *Reproduction Fertility and Development*. 29(3):448-457.
- Tejada, L.M., Meza-Herrera, C.A., Rivas-Muñoz, R., Rodriguez-Martinez, R., Carrillo, E., Mellado, M., Véliz-Deras, F.G. (2017). Appetitive and consumatory sexual behaviors of rams treated with exogenous testosterone and exposed to anestrus Dorper ewes: Efficacy of the male effect. *Archives of Sexual Behavior*. 46(3): 835-842.

- Tolentino C.C. (2014). Frecuencia, morfología y producción de progesterona in vitro en cuerpos lúteos de pequeños rumiantes domésticos. (Tesis de Maestría). Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México, México.
- Tomac, J., Cekinovic, D., Arapovic, J. (2011). Biology of the corpus luteum. *Periodicum Biologorum*. 113(1):43-49.
- Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera, C.A., Escobar-Medina, F.J., Gamez-Vazquez, H.G., Ramirez-Andrade, B.M., Diaz-Gomez, M.O., y A. Gonzalez-Bulnes. (2009). Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reproductive Biology*. 9(3):283-294.
- Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera, C.A., Tello-Varela, L., Diaz-Gomez, M.O., y Beltran-Lopez, S. (2012). Effect of nutritional supplementation upon pregnancy rates of goats reared under semiarid rangelands and exposed to the male effect. *Tropical Animal Health and Production*. 44:1473-1477.
- Vahidi, S.M.F., Tarang, A.R., Naqvi, A-un-N., Anbaran, M.F., Boettcher, P., Joost, S., Colli, L., García, J.F., y Ajmone-Marsan, P. (2014). Investigation of the genetic diversity of domestic *Capra hircus* breeds reared within an early goat domestication area in Iran. *Genetics Selection Evolution*. 46:27.
- Veronesi, M.C., Gabai, G., Battochio, M., Mollo, A., Soldano, F., Bono, G. y Cairoli, F. (2002). Ultrasonographic appearance of tissue is a better indicator of CL function than CL diameter measurement in dairy cows. *Theriogenology*. 58(1): 62-68.
- Veliz F.G., Meza-Herrera C.A., De Santiago-Miramontes M.A., 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. *Livestock Science*. 125(2-3): 261-265.

- Vielma, J., Chemineau, P., Poindron, P., Malpoux, B. y Delgadillo, J.A. (2009). Male sexual contributes to the maintenance of high LH pulsatility in anestrus female goats. *Hormones and Behavior*. 56(4):44-449.
- Viñoles, C., Forsberg, M., Martin, G.B., Cajaville, C., Repetto, J. y Meikle, A. (2005). Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition effects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. *Reproduction*. 129(3): 299-309.
- Walkden-Brown, S.W. y Bocquier, F. (2000). Nutritional regulation of reproduction in goats. 7th International Conference on Goats. France 15-21 may. 389-395.
- Zhu, G., Cui, Y., Wang, Q., Kang, Y., Lv, Y., Wang, J., Song, Y., Cao, B. (2013). Bone Morphogenetic proteins (BMP) 2, 4, 6 and 7 affect ovarian follicular development through regulation of follicle-stimulating hormone receptor (FSHR) and luteinizing hormone receptor (LHR) expression in goat granulosa cells. *Cell Biology and Genetics*. 3(1):14-21.
- Zulu, V.C., Nakao, T. y Sawamukai, Y. (2002) Insulin-Like Growth Factor-I possible hormonal mediator of nutritional regulation of reproduction in cattle. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 64(8): 657-665.