

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS**



**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y REACTIVACIÓN DE LA  
FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS AL EFECTO MACHO:  
NIVELES SÉRICOS DE PROTEÍNA TOTAL Y UREA**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL DOBLE GRADO DE:**

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

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

**PRESENTA:**

**CARLOS ARNOLDO ROMERO RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR:**

**DR. CÉSAR ALBERTO MEZA HERRERA**



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

**Bermejillo, Durango, México, Junio 2018**



**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO  
Y REACTIVACIÓN DE LA FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS  
EXPUESTAS AL EFECTO MACHO:  
NIVELES SÉRICOS DE PROTEÍNA TOTAL Y UREA**

Tesis realizada por **Carlos Arnoldo Romero Rodríguez** 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 EN ZONAS ÁRIDAS**



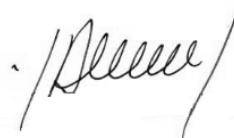
Director

**Dr. César Alberto Meza Herrera**  
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA



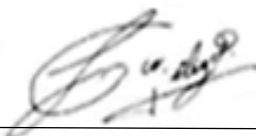
Co-Director

**Dr. Arnoldo Flores Hernández**  
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA



Asesor

**Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca**  
Universidad de Córdoba - UCO



Asesor

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

*Bermejillo, Durango, Junio 2018*

**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO  
Y REACTIVACIÓN DE LA FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS  
EXPUESTAS AL EFECTO MACHO:  
NIVELES SÉRICOS DE PROTEÍNA TOTAL Y UREA**

Trabajo de Fin de Máster realizado por **Carlos Arnoldo Romero Rodríguez** bajo la Dirección del Comité Asesor, evaluado y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

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



Director

**Dr. César Alberto Meza Herrera**  
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA



Co-Director

**Dr. Arnoldo Flores Hernández**  
Universidad Autónoma Chapingo - URUZA



Asesor

**Dr. Miguel ángel Herrera Machuca**  
Universidad de Córdoba - UCO, España



Asesor

**Dr. Antón García Martínez**  
Universidad de Córdoba - UCO, España



Asesor

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



Asesor

**Dr. César A. Rosales Nieto**  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias

*Bermejillo, Durango, Junio 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 Arnoldo ROMERO RODRÍGUEZ, con pasaporte de México N° G22757747, presentó a examen su Trabajo de Fin de Máster "**SUPLEMENTACIÓN DE NOPAL PROTEICAMENTE ENRIQUECIDO Y REACTIVACIÓN DE LA FUNCIÓN OVÁRICA EN CABRAS ANÉSTRICAS EXPUESTAS AL EFECTO MACHO: NIVELES SÉRICOS DE PROTEÍNA TOTAL Y UREA**". 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 al apoyo recibido para el desarrollo de la presente investigación:

✚ Al Programa de Becas Nacionales CONACyT 2016-2017.

✚ Al Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas 2016-2017 (UACH-URUZA).

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

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi abuela **Eulalia** quien siempre quiso que yo saliera adelante, quien me enseñó a no ser conformista, a pensar en el presente y a velar por mi futuro.

Gracias por todo, siempre te recordaré.

*“Había perdido en la espera la fuerza de los muslos, la dureza de los senos, el hábito de la ternura, pero conservaba intacta la locura del corazón.”*

*“Entonces sus pensamientos se hicieron tan claros, que pudo examinarlos al derecho y al revés.”*

Gabriel García Márquez

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha requerido, no sólo de mi esfuerzo, sino el de muchas personas que a lo largo de mis estudios y formación me han influenciado de manera positiva para culminar el doble grado de **Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas**, y de **Máster en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad**.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional en especial a mi mamá **Nelda** por apoyarme siempre y por haberme inculcado los valores que me han guiado y que me guiarán por el resto de mi vida; a mi papá **Arnoldo** por creer en mí y por impulsarme a seguir desarrollándome; a mi hija **Ruth** por ser mi motivo y por hacerme feliz a cada instante; a mi chica **Alicia** por sus consejos y por el invaluable esfuerzo y dedicación que pone en nuestra familia y a mis hermanos **Eder** y **Leslie** por estar siempre conmigo.

A mi Director de Tesis, **Dr. César Alberto Meza Herrera** quien ha sido y será siempre un ejemplo para muchos investigadores y que en esta ocasión me ha sabido inspirar y guiar en mi insipiente camino de investigador.

A mi Co-Director **Dr. Arnoldo Flores Hernández** por su valiosa colaboración en el presente trabajo, por haberme incluido en su proyecto del cual aprendí mucho y por mostrarme que puedo mejorar cada día más.

Al Coordinador de estudios de posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, el **Dr. Aurelio Pedroza Sandoval** por su apoyo y por poner otro importante escalón en mi camino hacia la investigación.

A los **amigos y compañeros** que formaron parte integral de mi formación como maestrante.

Por último, estoy eternamente agradecido con mi *alma mater* la **Universidad Autónoma Chapingo** y con el posgrado de **Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas**.

## DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por el Ing. Carlos Arnoldo Romero Rodríguez. El cual obtuvo el grado de Ingeniero en Sistemas Pecuarios en el año 2015 por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), ubicada en Bermejillo, Durango, México. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis titulada “Efecto de la suplementación de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecido proteicamente sobre la reactivación ovárica en cabras anéstricas expuestas al efecto macho” en septiembre del 2015, misma que fue dirigida por el Ph. Dr. César Alberto Meza Herrera y publicada en la 27ª Semana Internacional de Agronomía, Gómez Palacio, Durango, México.

Después de egresar de la licenciatura, trabajó como ayudante general en la Posta Zootécnica de la Universidad Autónoma Chapingo-URUZA. Posteriormente, empezó los estudios de maestría en el programa de posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Árida en URUZA-UACH, generación 2016-2017. Además, durante el periodo de enero a abril del 2017, realizó una estancia de investigación en la Universidad de Córdoba, España, cumpliendo con los créditos y trámites correspondientes para obtener el doble grado de Máster en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad.

El Ing. Carlos Arnoldo Romero Rodríguez ha formado parte integral de la formación de recursos humanos al participar en las tesis de licenciatura:

- **2017.** Gutiérrez-Zapata, M. E. Efectos de la composición, rendimiento y precios en el valor bruto de la producción láctea del DR017. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México (Suplente, sustentada el 17-10-2017. Aprobado por unanimidad).
- **2017.** Martínez-Díaz, R. Eficiencia y productividad del agua en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo el sistema de riego por temporal, en el municipio de rio grande, zacatecas comparando dos tipos de productores. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México (Suplente, sustentada el 10-10-2017. Aprobada por unanimidad).
- **2017.** Santiago-Pérez, F. Huella hídrica azul de uva para mesa (*vitis vinífera*) en sonora, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México (Suplente, sustentada el 10-10-2017. Aprobado por unanimidad).



- **2017.** Ordóñez-Rodríguez, M. Y. Huella hídrica física y económica de la leche bovina del sistema especializado del DR005 delicias, chihuahua, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México (Suplente, sustentada el 26-09-2017. Aprobada por unanimidad con felicitación).

También, ha colaborado en la publicación de diferentes resultados de investigación científica:

- **2017.** Meza-Herrera, C. A., Romero-Rodríguez, C. A., Santamaria-Estrada, C. A., Nevarez-Dominguez, A., Lopez-Flores, N. M., Cano-Villegas, O., Flores-Hernandez, A., Herrera-Machuca, M. A., Veliz-Deras, F. G. y Rosales-Nieto, C. A. Targeted supplementation of protein enriched *Opuntia cladodes* upon reproductive outcomes in anestrus goats exposed to the male effect: I. Estrus induction, estrus latency and ovulation rate. *Reproduction in Domestic Animals*. Conferencia llevada a cabo en la 21st Annual Conference of the European Society for Domestic Animal Reproduction (ESDAR), Berna, Suiza.
- **2016.** Meza Herrera, C. A., Pacheco-Álvarez, P., Castro, O. E., Navarrete-Molina, C., Santamaría Estrada, C. E., Romero-Rodríguez, C. A., Mellado, M., Veliz-Deras, F. G., Rosales-Nieto, C. A., Rodríguez-Martínez, R. y Arellano-Rodríguez, G. Betacarotene supplementation positively affects selected blood metabolites across time around the onset of puberty in goats. Conferencia llevada a cabo en la 12th International Conference on Goats “ICG 2016”, Antalya, Turquía.
- **2016.** Meza-Herrera, C. A., Santamaría-Estrada, C. E., Romero-Rodríguez, C. A., Calderón-Leyva, G., Grion-Gomez1, B. S., Álvarez-Ruiz, A. R., Veliz-Deras, F. G., Serradilla, J. M. y García-Martínez, A. Precision glutamate supplementation, antral follicular development and the LH secretion pattern in adult goats. Conferencia llevada a cabo en la 12th International Conference on Goats “ICG 2016”, Antalya, Turquía.
- **2016.** Meza-Herrera, C. A., Cano-Villegas, O., Santamaría-Estrada, C. E., Romero-Rodríguez, C. A., Flores-Hernández, A., Moreno-Murillo, R., Serradilla y J. M., Véliz-Deras, F. G. Effect of supplementation of protein enriched *Opuntia megacantha* Salm-Dyck cladodes upon reproductive outcomes in anestrus goats exposed to the male effect. Conferencia llevada a cabo en la 12th International Conference on Goats “ICG 2016”, Antalya, Turquía.
- **2016.** Meza-Herrera, C. A., Ramirez-Omaña, B., Nieto-Rosales, C. A., Moron-Cedillo, F. J., Santamaría-Estrada, C. E., Romero-Rodríguez, C. A. y Navarrete-Molina, C. Supplementation with vitamin “e” in rambouillet ewes during the last third of pregnancy: effect on lamb birth weight. *Cattle Health-*

Tomorrow's Thinking Today. Congreso llevado a cabo en el 29th Congress of the World Association For Buiatrics, Dublin, Irlanda.

- **2015.** Romero-Rodríguez, C. A., Meza-Herrera, C. A., Flores-Hernández, A., Cano-Villegas, O. y Véliz-Deras, F. G. Efecto de la Suplementación de Nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) proteínicamente enriquecido sobre la reactivación ovárica en cabras expuestas al efecto macho en la época de anestro. Congreso llevado a cabo en la 27ª Semana Internacional de Agronomía, Gómez Palacio, Durango, México. (Tesis de licenciatura)
- **2015.** Santamaría-Estrada, C. E., Meza-Herrera, C. A., Véliz-Deras, F. G., Girón-Gómez, B. S., Álvarez-Ruiz, A. R., Navarrete-Molina, C., Paleta-Ochoa, A., Contreras-Villarreal, V., Tejada-Ugarte, L. M. y Romero-Rodríguez, C. A. Suplementación focalizada de glutamato, desarrollo de folículos antrales y patrón de secreción de LH en cabras adultas. Congreso llevado a cabo en el III International Congress of Science, Technology, Innovation and Entrepreneurship, Bolívar, Ecuador.
- **2015.** Quezada-Escárcega, D., Meza-Herrera, C. A., Macías-Cruz, U., Girón-Gómez, B.S., Véliz-Deras, F. G., Álvarez-Ruiz, A. R., Navarrete-Molina, C., Paleta-Ochoa, A., Romero-Rodríguez, C. A., Contreras-Villarreal, V. y Tejada-Ugarte, L. M. Estrés térmico, nutrición divergente y tercer tercio de gestación en ovejas: niveles séricos de triglicéridos y los pesos de la camada al nacimiento. Congreso llevado a cabo en el III International Congress of Science, Technology, Innovation and Entrepreneurship, Bolívar, Ecuador.
- **2015.** Paleta-Ochoa, A., Meza-Herrera, C. A., Navarrete-Molina, C., Cano-Villegas, O., Romero-Rodríguez, C. A., Álvarez-Ruiz, A. R., y Girón-Gómez, B. S. Suplementación de glutamato y breactivación ovárica en cabras primaras durante la época de anestro estacional: efecto sobre los niveles séricos de triyodotironina. Congreso llevado a cabo en el II Congreso Internacional y IX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., México.
- **2015.** Álvarez-Ruiz, A. R., Meza-Herrera, C. A., Paleta-Ochoa, A., Girón-Gómez, B. S., Navarrete-Molina, C. y Romero-Rodríguez, C. A. Suplementación de glutamato y función reproductiva en cabras primaras durante el periodo de transición al anestro estacional: efecto sobre los niveles séricos de insulina. Congreso llevado a cabo en el II Congreso Internacional y IX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., México.
- **2015.** Paleta-Ochoa, A., Meza-Herrera, C. A., García-Martínez, A., Serradilla, J. M., Romero-Rodríguez, C. A., Girón-Gómez, B. S., Álvarez-Ruiz, A. R. y Contreras-Villarreal, V. Suplementación de glutamato y reactivación ovárica en cabras primaras durante la época de anestro estaciona. Congreso llevado a cabo en el "XI Congreso de la Federación Iberoamericana de Razas Criolla y Autóctonas, Zaragoza, España.

Además, ha participado en diferentes congresos, cursos y otras actividades:

- **2017.** Colaborador en el “Proyecto validación de la tecnología de enriquecimiento proteico de nopal (*Opuntia* spp) en el norte de México (17019 IDT)” cuyo responsable técnico fue el Dr. Arnoldo Flores Hernández.
- **2015.** Taller de trabajo “Bases Endocrinológicas de efecto Macho en Pequeños Rumiantes: Resultados en la Comarca Lagunera” realizado el 12 de mayo en Bermejillo, Dgo.
- **2015.** Curso “Sistemas de Información Geográfica QSIG” impartido los días 24, 25 y 26 de febrero del en Chihuahua, Chih.
- **2014.** Curso teórico-práctico, “El estado del arte en la interacción grasa-músculo-pubertad en ovinos” impartido el 26 de marzo en Bermejillo, Dgo.
- **2014.** Estudios de inglés “Level 2”, Realizados en la Universidad Nacional Autónomas de México, UNAM-SAN ANTONIO. San Antonio, Texas, realizado en el mes de julio.
- **2014.** Curso intensivo “Actualización sobre Enfermedades de los Ovinos y Caprinos” impartido el 22 de octubre en Bermejillo, Dgo.
- **2013.** “13º Congreso Internacional de Médicos Veterinarios Zootecnistas Especialistas en Bovinos” realizado los días 7, 8 y 9 de noviembre.
- **2012.** “XXI Curso Internacional Agroforestería para el Ecodesarrollo”, celebrado en la Universidad Autónoma Chapingo, en el marco del Sistema de Postgrados en Medio Ambiente de la Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe, del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en Bermejillo, Dgo.
- **2012.** “VIII Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas” realizada los días 25 y 26 de octubre en Bermejillo, Dgo.
- **2011.** “VII Congreso Nacional sobre Recursos Naturales Bióticos de Zonas Áridas” realizado del 19 al 21 de octubre en Bermejillo, Dgo.
- **2011.** “VII Congreso Nacional sobre Recursos Naturales Bióticos de Zonas Áridas” realizado del 19 al 21 de octubre en Bermejillo, Dgo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVO</b> .....	5
2.1.	Hipótesis .....	5
2.2.	Objetivo .....	5
<b>III.</b>	<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	6
3.1.	La caprinocultura en el mundo .....	6
3.2.	La caprinocultura en México .....	7
3.3.	Impacto ambiental de la caprinocultura .....	9
3.4.	Aspectos reproductivos de la hembra caprina .....	10
3.5.	Aspectos reproductivos del macho caprino .....	12
3.6.	Estacionalidad reproductiva .....	13
3.7.	Métodos para la inducción al estro y la mejora reproductiva .....	14
3.7.1.	Efecto macho .....	14
3.7.2.	Efecto hembra .....	15
3.7.3.	Efecto fotoperiódico .....	15
3.7.4.	Efecto hormonal .....	16
3.7.5.	Efecto nutricional .....	17
3.8.	Latencia del estro .....	17
3.9.	Tasa ovulatoria .....	18
3.10.	Suplementación estratégica y comportamiento reproductivo .....	18
3.11.	Alimentación y suplementación con nopal .....	19
3.12.	Enriquecimiento proteico del nopal .....	20
3.13.	Perfil metabólico .....	21
3.13.1.	Proteína .....	23
3.14.	Digestión de las proteínas en el rumen .....	23
3.15.	Ciclo de la urea .....	25
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	26
4.1.	Localización del área de estudio .....	26
4.2.	Animales y diseño de tratamientos .....	26
4.3.	Suplementos experimentales y horario de suplementación .....	27
4.4.	Manejo de los machos: en busca del efecto macho .....	28
4.5.	Análisis ultrasonográfica de la función ovárica .....	29

4.6.	Muestreo sanguíneo intermitente: metabolitos sanguíneos .....	29
4.7.	Análisis estadístico .....	31
V.	RESULTADOS .....	32
VI.	DISCUSIÓN.....	35
VII.	CONCLUSIONES .....	43
VIII.	LITERATURA CITADA.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y GRÁFICAS

<b>FIGURAS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Digestión y metabolismo de los compuestos nitrogenados en el rumen.	24
2	Protocolo experimental de la suplementación dirigida con cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck proteicamente enriquecidos (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (CONT) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones extensivas en pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).	31
<b>CUADROS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Composición química media (SD), base-seca, de cladodios de <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck enriquecidos en su contenido proteico (OPE), así como no enriquecidos (ONE) y ofrecidos como suplemento a cabras adultas de raza mixta (Alpine-Saanen-Nubian x Criollo) expuestas a machos tratados con testosterona en la época de anestro reproductivo (mayo-junio) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).	28
2	Medias mínimas de cuadrados con respecto a condición corporal (CC), peso vivo (PV <sub>1</sub> , PV <sub>12</sub> y PV <sub>30</sub> ), proteína total en sangre (PTS), urea en sangre (US) y; parámetros reproductivos medidos mediante la inducción al estro (IE), la latencia del estro (LE) y la tasa ovulatoria (TO) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45); grupos de cabras suplementadas con <i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck; <i>Opuntia</i> ofrecido no enriquecido (ONE), proteicamente enriquecido (OPE) y grupo control (CONT) no suplementado. Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona y a un incremento natural del fotoperiodo (de mayo a junio: temporada de anestro) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).	33
<b>GRÁFICAS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Concentraciones séricas de proteína total a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con <i>Opuntia</i> proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con <i>Opuntia</i> no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN).	34
2	Concentraciones séricas de urea a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con <i>Opuntia</i> proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con <i>Opuntia</i> no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN).	34

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
AA	Amino Ácidos
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
ATP	Trifosfato de Adenosina
AUS	Análisis Ultrasonográfico
CC	Condición Corporal
°C	Grados Centígrados
CONT	Grupo Control
CNF	Carbohidratos No Fibrosos
EE	Error Estándar
ENm	Energía Neta metabolizable
FAD	Fibra Ácido Detergente
FGA	Fluorogestone Acetate
FND	Fibra Neutro Detergente
FSH	Hormona Folículo Estimulante
gr dL	Gramos por Decilitro
GH	Hormona del Crecimiento
GnRH	Hormona Liberadora de Gonadotropinas
H	Horas
HMG	Human Menopausal Gonadotropin
IE	Inducción al Estro
IGF-I	Factor de Crecimiento Análogo a Insulina-I
IGF-II	Factor de Crecimiento Análogo a Insulina-II
INS	Insulina
LE	Latencia del Estro
LH	Hormona Luteinizante
LN	Latitud Norte
MAP	Acetato de Medroxyprogesteronas
mg dL	Miligramos por Decilitro
Mcal kg	Mega Calorías por Kilogramo
MS	Materia Seca
NH <sub>3</sub>	Amoniacó
NNP	Nitrógeno no Proteico
NRC	National Research Council
ONE	<i>Opuntia</i> No Enriquecido
OPE	<i>Opuntia</i> Proteicamente Enriquecido
PC	Proteína Cruda
PM	Perfil Metabólico
PMSG	Pregnant Mare Serum Gonadotropin
PTS	Proteína Total Sérica
PV	Peso Vivo
P <sub>4</sub>	Progesterona
TND	Total de Nutrientes Digestibles
TO	Tasa Ovulatoria
US	Urea Sérica
%	Porcentaje

# Suplementación de nopal proteicamente enriquecido y reactivación de la función ovárica en cabras anéstricas expuestas al efecto macho: niveles séricos de proteína total y urea

Carlos A. Romero-Rodríguez<sup>1</sup>, Cesar A. Meza-Herrera<sup>2</sup>

## Resumen

Se evaluó el posible efecto de la suplementación estratégica con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm Dick) enriquecido proteicamente con *Saccharomyces cerevisiae* a través de un proceso de fermentación sobre la reactivación de la función ovárica y sobre metabolitos sanguíneos en cabras expuestas al efecto macho y apacentadas en pastizales marginales en la época de anestro reproductivo. La reactivación ovárica consideró las variables de respuesta: inducción al estro (IE, %), latencia del estro (LE, h) y tasa ovulatoria (TO, unidades). Los metabolitos sanguíneos evaluados fueron proteína total (PT; gr/dL) y urea (UR; mg/dL). A principio de mayo, cabras adultas de raza mixta (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) homogéneas respecto a peso vivo (PV) y condición corporal (CC) fueron distribuidas aleatoriamente en tres grupos: 1) control (CONT; n=15), 2) *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE; n=15) y 3) *Opuntia* no enriquecido (ONE; n=15). Las cabras de los grupos OPE y ONE fueron suplementadas, de manera individual, con 160 g de *Opuntia* durante la mañana (9:00 am a 10:00 am) y apacentadas en el pastizal durante la tarde. El grupo CONT no fue suplementado, sólo apacentado y, el grupo OPE consideró un enriquecimiento proteico mediante un proceso de fermentación semisólido en un biorreactor (NOPAFER - Registro No. 2641 IMPI; con *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0.1%). Las variables PV, CC, PT y UR no difirieron ( $P>0.05$ ) entre tratamientos. Sin embargo, las variables reproductivas difirieron ( $P<0.05$ ) entre tratamientos favoreciendo al grupo suplementado con *Opuntia* enriquecido proteicamente: IE ( $100\pm 0.18$ ), LE ( $62\text{h}\pm 4.24$ ) y TO ( $1.33\pm 0.25$ ). Estos resultados pueden contribuir a la sustentabilidad de sistemas marginales de producción caprina en zonas áridas.

**Palabras clave:** Cabras, efecto macho, suplementación estratégica, *Opuntia*, variables reproductivas, metabolitos sanguíneos.

---

<sup>1</sup> Tesista, <sup>2</sup> Director



**Supplementation of protein-enriched *Opuntia* and reactivation of ovarian function in anestrus goats exposed to the male effect: serum levels of total protein and urea**

**Abstract**

The possible effect of strategic supplementation with *Opuntia* cladodes protein-enriched through a fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae* upon the reactivation of ovarian function and on blood metabolites of anestrus goats exposed to the male effect and grazing in marginal pastures during the reproductive anestrus season, was evaluated. The ovarian reactivation considered the response variables: induction to estrus (IE, %), estrus latency (LE, h) and ovulation rate (TO, units). The evaluated blood metabolites were total protein (TP: gr/dL) and urea (UR; mg/dL). At the beginning of May, adult mixed-breed goats (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo, n = 45) homogeneous regarding live weight (LW) and body condition (BC) were randomly distributed into three groups: 1) control (CONT; n = 15), 2) Protein-enriched *Opuntia* (OPE; = 15) and 3) non-enriched *Opuntia* (ONE; n = 15). Goats of the OPE and ONE groups were individually supplemented with 160 g of milled and dried cladodes during the morning (9:00 a.m. to 10:00 a.m.) and grazed in the pasture during the afternoon. While the CONT group only grazed marginal pastures, the OPE group received protein enriched cladodes in a semisolid fermentation process in a bioreactor (NOPAFER-Register No. 2641 IMPI; *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) and ammonium sulfate (0.1%). The variables LW, BC, TP and UR did not differ ( $P > 0.05$ ) among treatments. However, the reproductive variables differed ( $P < 0.05$ ) among treatment groups, favoring to the group supplemented with protein-enriched *Opuntia*: IE ( $100\% \pm 0.18$ ), LE ( $62\text{h} \pm 4.24$ ) and TO ( $1.33 \pm 0.25$ ). Such results should contribute to the sustainability of marginal goat production systems under arid land conditions.

**Key words:** Goats, male effect, strategic supplementation, *Opuntia*, reproductive variables, blood metabolites.

Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, URUZA-UACH

Author: Romero Rodríguez Carlos Arnoldo

Advisor: Meza Herrera César Alberto

## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie en México, lo que las convierte en el ecosistema vegetal más grande del país, ya que cubren la mayor parte del territorio nacional; es un ecosistema que está constituido por diferentes especies vegetales y animales (Aréchiga *et al.*, 2008; González, 2012). En estas regiones áridas, en donde se concentra la producción caprina, prevalecen la pobreza, la escasez de agua y la sequía (González-Bulnes *et al.*, 2011). Estos sistemas de producción poseen escasos recursos bióticos y económicos, y dependen del pastoreo en tierras comunales con productividad limitada, sin embargo, contribuyen al sustento de los agricultores (Echavarría-Cháirez *et al.*, 2006; Escareño *et al.*, 2013).

La población caprina en México es la segunda más grande del continente americano con 8`687,814 cabezas de caprinos, después de Brasil (8`851,879 cabezas) (FAO, 2014). Aunque las cabras contribuyen modestamente a la producción nacional de leche y carne (120-150 millones de litros y 36,000 toneladas cada año, 2% y 1% respectivamente), son importantes desde el punto de vista social, ya que representan una fuente de ingresos y de alimentos para numerosas familias campesinas, principalmente en las zonas áridas y semi-áridas del norte de nuestro país y en la Sierra Madre del Sur entre Puebla, Oaxaca y Guerrero (Guerrero-Cruz, 2010).

La actividad caprina en México ha resurgido en la última década, por lo que día a día incrementa su importancia como una actividad cultural que se redescubre, tanto por el valor nutricional de sus productos y subproductos para la nutrición humana, así como una actividad pecuaria rentable de bajo impacto ambiental (SAGARPA, 2011). Sin embargo, el norte de México es una región árida y semiárida que concentra la

mayor producción caprina del país, y presenta limitaciones ambientales como la estacionalidad reproductiva y un inadecuado balance de nutrientes, principalmente de proteína y energía, lo cual se refleja en bajas condiciones corporales y bajas producciones (Mellado y Valdés, 1998; Meza-Herrera *et al.*, 2004). La estacionalidad reproductiva es una característica de la mayoría de las razas de ovejas y cabras de latitudes templadas y subtropicales (Chemineau *et al.*, 1992; Aréchiga *et al.*, 2008; Carrillo *et al.*, 2010; Delgadillo, 2010; Meza-Herrera, 2012). Las cabras son poliestricas estacionales y manifiestan celos con ovulaciones fértiles y receptividad sexual hacia el macho en una época definida del año, generalmente cuando el fotoperíodo decrece (Shelton, 1978; Urrutia-Morales *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2010).

Esta reproducción estacional provoca que la producción sea también estacional, lo que genera un problema de comercialización para el productor (Álvarez *et al.*, 1999; González-Bulnes *et al.*, 2011). Se han desarrollado diversos métodos para que hembras en temporada de anestro reproductivo sean inducidas al estro, entre los que destacan los tratamientos fotoperiódicos, los hormonales, los socio-sexuales y los nutricionales (Meza-Herrera *et al.*, 2004, 2007, 2008; Leboeuf *et al.*, 2008; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2008, 2009; Guerra-García *et al.*, 2009; Urrutia-Morales *et al.*, 2009). Un interesante método socio-sexual utilizado en el semiárido mexicano es el “efecto macho” (Véliz *et al.*, 2002, 2006, 2009; Rosales-Nieto *et al.*, 2011).

El efecto macho es el proceso mediante el cual los sementales inducen la presencia de celos en cabras en anestro estacional y ocurre principalmente en razas de estación reproductiva larga como la Criolla, Nubia y Boer (Urrutia-Morales *et al.*, 2000 a; Urrutia-Morales *et al.*, 2001 a). Según Véliz *et al.* (2002) y Rivas-Muñoz *et al.* (2010) las cabras anovulatorias del norte de México reinician su actividad estral y

ovulatoria al ser expuestas a machos sexualmente activos mediante un tratamiento de 2.5 meses de días largos artificiales, mientras que cuando son expuestas a machos en reposo sexual, la respuesta estral y ovulatoria es menor al 10%.

En sistemas de producción marginales como los predominantes en el norte de México, los alimentos con alto contenido de proteínas y carbohidratos (v.g. concentrados comerciales) y pastos de alta calidad son recursos poco disponibles para promover una producción animal sostenible. Por lo tanto, recurrir a suplementos alimenticios alternativos como subproductos agroindustriales, bloques de alimentación, árboles y arbustos forrajeros menos costosos respecto al uso de suplementos convencionales, es altamente recomendado (Ben-Salem y Smith, 2008).

El nopal es un forraje con un alto potencial que puede impulsar el sector pecuario en las zonas áridas y mejorar los ingresos de los ganaderos; sin embargo, aunque es alto en carbohidratos y calcio, es pobre en fibra y proteína cruda (PC) (Ben-Salem y Abidi, 2009; Meza-Herrera et al., 2017). Al respecto Olivera (2001) reportó un aumento en el contenido de PC de un 12,8% al someter al nopal a un proceso de fermentación con hongo (*Aspergillus niger*). Por su parte Araújo et al. (2005) reportaron un aumento (hasta del 400%) de la proporción de proteína (260 g/kg DM-materia seca) en nopal fermentado con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

Rekik et al. (2012) reportaron que, en ovejas suplementadas con nopal, el cual fue adicionado con soja (como compensación al bajo contenido proteico del nopal), fue mayor la tasa ovulatoria cuando se suplementó durante un periodo de tiempo de 6 a 10 días que cuando se suplementó durante un periodo de más de 11 días. Así como respecto a las ovejas suplementadas con concentrado de 6 a 10 días. Este estudio muestra el efecto positivo de la suplementación con nopal sobre la tasa ovulatoria en

ovinos y sugiere la necesidad de seguir estudiando el impacto del nopal sobre aspectos reproductivos y metabolitos sanguíneos en pequeños rumiantes, ya que es muy poca la investigación realizada sobre el tema hasta el momento.

## II. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

### 2.1. Hipótesis

La suplementación con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck), enriquecidos en su contenido proteico con *Saccharomyces cerevisiae* acelera la reactivación de la función ovárica, incrementa los niveles séricos de proteína total y reduce los de urea en cabras al ser expuestas al efecto macho en la época de anestro en la Comarca Lagunera.

### 2.2. Objetivo

Cuantificar los efectos de la suplementación con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck) enriquecidos proteicamente con *Saccharomyces cerevisiae* sobre la reactivación de la función ovárica, niveles séricos de proteína total y urea en cabras al ser expuestas al efecto macho en la época de anestro reproductivo.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. La caprinocultura en el mundo

Las evidencias más antiguas sobre la existencia de las cabras datan del Neolítico; sin embargo, pinturas rupestres encontradas en los montes Sacros situados en el suroeste asiático, sugieren que la relación entre los seres humanos y las cabras se remonta hasta 8,000 años A.C. A pesar de la evidencia, la domesticación de la especie caprina aún no es del todo clara y, aunque la cabra es un animal que se cree fue domesticado hace miles de años, al día de hoy no ha evolucionado tanto como lo han hecho otros rumiantes que también fueron domesticados. Por esta razón, la cabra conserva ciertas características anatómicas, fisiológicas y de comportamiento de sus antepasados primitivos (Mellado, 1985).

A nivel mundial, la población caprina asciende a 1'011, 251,833 de cabezas. De esta población, el continente asiático concentra la mayor parte con el 60.1% del total, seguido por África que concentra el 33.1%, América con 4.3%, Europa con 2.2% y finalmente Oceanía con el 0.4% del total de cabras en el mundo. De los países con mayor número de cabras a nivel mundial, China es el más representativo con 166'241,545 seguida por India que cuenta con 129'270,337; tan sólo estos dos países asiáticos representan el 29.22% del total mundial (FAO, 2014).

En los países en desarrollo, las cabras se mantienen a menudo en entornos marginales y bajo condiciones climáticas adversas. De manera general, estos animales tienen un mayor rendimiento lechero que las ovejas y, por esta razón, se conocen como las “vacas de los pobres” (FAO, 2018). Además, son la principal fuente de leche y carne para muchos agricultores de subsistencia y, en el 2016 se produjeron 5'621,333

toneladas de carne en todo el mundo, lo que representa tan sólo el 1.7% de la producción total (FAO, 2016).

Las cabras se han desarrollado bien en las zonas áridas y semiáridas del mundo y, su leche, se produce ampliamente en regiones como África Occidental, el Caribe y África Central en donde la mayor parte se usa para auto consumo. Por otra parte, aunque los países en desarrollo concentran el mayor número de caprinos de leche, los programas de mejoramiento se concentran en Europa y América del Norte. Además, debido al desarrollo en cuanto a genética, los rendimientos y los períodos de lactancia se han incrementado notablemente. De manera tal que, las razas de cabras lecheras utilizadas en países desarrollados tienen un mayor potencial genético para la producción de leche que las razas utilizadas en los países en desarrollo (Escareño *et al.*, 2013).

Sin embargo, en las últimas décadas, estas razas de alta genética se han exportado a muchos países en desarrollo y se han cruzado con las razas locales con la finalidad de mejorar la producción de leche. Las razas Saanen, Anglo Nubia, Toggenburg, Alpina y West African Dwarf son algunas de las razas más distribuidas para mejorar la genética de las cabras de leche (FAO, 2018). No obstante la importancia y la atención que se ha puesto en la mejora genética en los caprinos, en el 2016 se produjeron 15`262,116 toneladas de leche a nivel mundial, lo que representa tan sólo el 1.9% de la producción total (FAO, 2016).

### **3.2. La caprinocultura en México**

México tiene cerca de 9 millones de cabras que se localizan en latitudes tropicales y subtropicales (SIAP, 2017). En donde, la caprinocultura se ha desarrollado y adaptado a los pastizales del territorio árido y semi-árido del norte (Aréchiga *et al.*, 2008; Galina



y Pineda, 2010). En el mismo sentido, la Comarca Lagunera es una importante región de producción caprina que tiene poco más de 400,000 cabezas de ganado y que se localiza en el árido mexicano (SIAP-SAGARPA, 2014). Los caprinos que actualmente se desarrollan en la Comarca Lagunera descienden de las razas españolas Murciano-Granadina y Malagueña que, a su vez, se cruzaron con otras razas como la Alpina, Saanen, Toggenbourg y Anglo-Nubia en los últimos 60 años lo cual derivó en una mejora en la producción de leche y carne. Los animales que resultaron de estas cruza son, en la actualidad, la población caprina predominante en la Comarca Lagunera, y se denominan “criollos” o “locales” (Merlos *et al.*, 2008). En la Comarca Lagunera, el 90% de los caprinos son una mezcla de razas con alto encaste a grupos lecheros denominado “mosaico lagunero” manejados bajo un sistema de producción extensivo (Meza-Herrera *et al.*, 2014d). Bajo este sistema, los animales se alimentan sólo de la vegetación natural de los agostaderos y no reciben una suplementación nutricional en corral. Asimismo, la disponibilidad de las especies forrajeras que son consumidas por el caprino, sufren una drástica disminución durante el periodo de noviembre a marzo (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991).

En este sistema de producción extensivo que prevalece en la Comarca Lagunera, los caprinos son apacentados durante la mañana para regresar en la tarde. En la noche son alojados en instalaciones abiertas y, de manera general, las hembras permanecen con los machos durante todo el año. Las crías son amamantadas por las madres, destetadas y vendidas a una edad aproximada de 4 a 6 semanas. Sin embargo, la venta de leche es considerada como la actividad que genera mayores ingresos para los productores (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991). En esta región, las cabras generan ganancias por más de 781 millones de pesos debido a la producción y comercialización de leche (SIAP-SAGARPA, 2014). En este sentido, la Comarca Lagunera es la región

con más producción de leche de cabra con cerca de 60 millones de litros de leche al año (SIAP-SAGARPA, 2013), los cuales representan aproximadamente el 36% de la producción total en el país.

### **3.3. Impacto ambiental de la caprinocultura**

La caprinocultura representa una estrategia para el control de malezas herbáceas invasivas y de especies arbustivas, ya que los caprinos prefieren alimentarse de las hojas y ramitas terminales de estas plantas. Por ello, los caprinos son, bajo cierto criterio, una alternativa para el uso de otros controles más perniciosos para el ecosistema como herbicidas, maquinaria e incendios controlados (Lu, 1988). Estos animales tienen menores problemas de toxicidad, ya que consumen una gran variedad de especies de plantas a lo largo del día (Fedele *et al.*, 1993). Además, tienen mayor masa hepática en relación a ovinos y bovinos, y toleran mayores niveles de compuestos fenólicos como los taninos (Silanikove, 1997). Más aun, debido a su capacidad de adaptarse tanto al pastoreo como al ramoneo, pueden controlar efectivamente vegetación invasiva, mientras que al mismo tiempo son capaces de seleccionar una dieta que satisface sus requerimientos nutricionales (Child *et al.*, 1985).

Álvarez (1995) afirma que, los caprinos representan una alternativa para la recuperación de praderas y pastizales que han sido invadidos por matorrales. Ya que, este animal nunca consume menos de un 50% de la vegetación arbustiva, sin importar que haya otras opciones de alimento. Además, los caprinos son capaces de utilizar pasturas con un alto contenido de fibra y arbustos leñosos, debido a su gran capacidad de consumo (hasta 6% de su peso vivo/día). Capacidad que, en países como España, ha sido aprovechada para el control de incendios forestales mediante el uso de áreas cortafuegos creadas con ayuda de ganado caprinos (Junta de Andalucía, 2010). Por

otra parte, los caprinos tienen la ventaja de tener un mayor número de bacterias celulíticas en el rumen, mayor secreción de saliva y un consumo metabólico de agua más reducido en comparación con otras especies. Esta última cualidad les permite ser más eficientes en el consumo de agua y por tanto una mejor opción en ecosistemas con bajas precipitaciones y escasez de agua (Álvarez, 1995).

En el norte de México, los caprinos han sido utilizados para el control de *Eysendhartia spinosa* y *Mimosa biuncifera*; ya que, estas últimas han invadido vastas áreas de praderas y de pastizales productivos ocasionando problemas serios en el ecosistema. Para buscar una solución para este problema, se llevó a cabo un estudio en el que se utilizaron de 150 a 300 cabras por día por hectárea, con o sin corte mecánico. Los efectos de la alimentación de los caprinos sobre la vegetación fueron notorios en un año. En cuatro años la mortalidad de *E. spinosa* fue del 36%, mientras que para *M. biuncifera* la tasa de mortalidad fue tan sólo del 8%; sin embargo, más del 60% de las plantas fueron afectadas, lo cual causó una reducción del 20% sobre la cobertura aérea de los matorrales (Fierro *et al.*, 1982). Demostrando que, los caprinos presentan la capacidad de consumir recursos vegetales que no son consumidos efectivamente por otros animales de interés zootécnico. Gracias a esta flexibilidad en su alimentación, estos se orientan de manera natural hacia un pastoreo de conservación, cuando son utilizados de manera sustentable (Luginbuhl y Pietrosevoli, 2007).

#### **3.4. Aspectos reproductivos de la hembra caprina**

La reproducción en las cabras está supeditada por una serie de factores ambientales. El fotoperiodo, el estrés, la nutrición, factores feromonales y el medio socio-sexual del hato, son condicionantes de los aspectos reproductivos. El fotoperiodo (horas de luz) se encuentra muy relacionado con los cambios nutricionales, que naturalmente están

muy influenciados por las condiciones de cría y por la época de incorporación de los machos a los hatos. Las hembras detectan y condicionan su respuesta estral por medio de la manifestación de su actividad reproductiva (estación de estro y tasa ovulatoria). De esta forma se establece una estrategia que, asegurará el éxito de la concepción, preñez y lactación (Cueto *et al.*, 2000).

Las cabras presentan un periodo de gestación de 5 meses y un comportamiento sexual que, en general, se manifiesta durante el final del verano y durante el otoño. Esta época reproductiva está caracterizada porque las horas de luz del día se disminuyen (fotoperiodo decreciente) (Cueto *et al.*, 2000). Las cabras tienen una actividad reproductiva de tipo poliéstrica estacional, con estros que se presentan cada 19 a 21 días. En ocasiones, las cabras presentan estros infértiles y ciclos estrales de corta duración (de 5 a 7 días) al inicio de la época reproductiva y después de que se incorporan los machos. Además, los cuerpos lúteos que se forman al comienzo de la estación reproductiva duran poco, ya que producen poca progesterona (Chemineau *et al.*, 1984). Esta es una característica propia de la especie caprina y ha sido reportada por varios autores en diferentes razas lecheras, cárnicas y de pelo mohair (Cognie *et al.*, 1971; Corteel, 1973; Chemineau, 1983; González-Stagnaro *et al.*, 1984; Lajous *et al.*, 1984; Gibbons *et al.*, 1994).

La actividad reproductiva es manifestada al inicio de la pubertad y está estrechamente relacionada con el peso vivo y/o el estado metabólico y se presenta a edades muy variables (Meza-Herrera *et al.*, 2008; 2010a, 2010b). Las hembras puberales presentan estros con ovulaciones cuando alcanzan del 45 al 65% de su peso adulto. En las razas Saanen y Alpina se tiene un peso de referencia que es de 31 a 32 kg y en la raza Angora, de 25 a 26 kg (Cueto *et al.*, 2000). Después de observados los

estros, se puede determinar una ovulación utilizando un laparoscopio para ver los cuerpos lúteos (Thimonier y Mauleon, 1969) y poder determinar el momento de la ovulación en base a su tamaño y color (Oldham y Lindsay, 1980). La técnica laparoscópica permite detectar de forma rápida a las cabras que están ciclando; además de la tasa ovulatoria y falsos estros (hembras marcadas por los machos sin estar en celo) (Cueto *et al.*, 2000).

### **3.5. Aspectos reproductivos del macho caprino**

Al igual que las hembras, los machos de la especie caprina también son influenciados por el fotoperiodo y por factores ambientales; además, presentan reposo sexual cuando las hembras están en anestro reproductivo (Carrillo *et al.*, 2010). La actividad sexual del macho caprino depende de los niveles sanguíneos de testosterona, la cual se incrementan de manera considerable a mitad del otoño, decreciendo a partir del invierno. Los niveles más bajos de testosterona son registrados durante la primavera y el comienzo del verano con algunos picos esporádicos de baja amplitud. La testosterona y la actividad sexual tienen una relación positiva en el macho (Cueto *et al.*, 2000).

El mayor desarrollo testicular de los machos caprinos tiene lugar en la época de máxima actividad sexual, la cual ocurre en otoño y disminuye considerablemente en la primavera y el verano (Carrillo *et al.*, 2010). Las eyaculaciones tienen un volumen promedio de 1.5 ml. La edad reproductiva en los machos es de 8 a 18 meses y varía según las razas y la alimentación (Calderón-Leyva *et al.*, 2017). En la raza Angora, de un total de 180 extracciones de 14 machos adultos, se han reportado rangos de 0.4 a 1.8 ml con un promedio de 0.8 ml (Gibbons *et al.*, 1992; Abad y Gibbons, 2000). Además, la concentración espermática (número de espermatozoides por ml) en machos

de la misma raza presentan un rango de 2000 a 4,300 millones/ml con un promedio de 3,200 millones de espermatozoides/ml. La concentración espermática presenta una correlación negativa con el volumen seminal (Gibbons *et al.*, 1992; Abad y Gibbons, 2000).

### **3.6. Estacionalidad reproductiva**

El fotoperiodo es un fenómeno natural y constante que, la especie caprina ha incorporado como un proceso de sincronización reproductivo (Cueto *et al.*, 2000). Las hembras de la especie caprina incrementan su receptividad sexual en la época en la que las horas de luz se disminuyen. Las razas especializadas en la producción de leche que habitan en la región centro de Europa (Toggenburg, Alpina y Saanen) presentan una marcada temporada de actividad sexual: la mayoría de celos se presentan en otoño y los últimos, en invierno (Meza-Herrera *et al.*, 2014d). En primavera se presentan estros, pero son de baja fertilidad (Rosales-Nieto *et al.*, 2011). Por otra parte, las razas de ascendencia africana, como la Nubia, presentan una actividad reproductiva más prolongada (Cueto *et al.*, 2000).

En los machos de las razas Saanen y Alpina, se demostró que al alternar dos meses de días largos (16 h luz/día) y dos meses de días cortos (8 h luz/día), la actividad sexual se incrementa durante los días cortos y se inhibe durante los días largos (Delgadillo *et al.*, 1991; Delgadillo *et al.*, 1999). En la Comarca Lagunera, la actividad sexual de los machos se puede estimular al exponerlos a 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre al 15 de enero (16 h luz/8 h oscuridad). De esta manera se estimula la liberación de testosterona, la cual a su vez estimula el comportamiento sexual aunado al efecto que provoca el olor y las vocalizaciones durante el reposo sexual natural de los meses marzo y abril (Delgadillo *et al.*, 2002; Bedos *et al.*, 2012).

### **3.7. Métodos para la inducción al estro y la mejora reproductiva**

La actividad reproductiva de los animales domésticos se puede alterar mediante algunos factores naturales: raza, localización, alimentación, fotoperiodo entre otras (Ibrahim, 1997; Zamiri y Haidari, 2006; Flores-Nájera et al., 2010; Meza-Herrera et al., 2011a, 2011b, 2013a). La reproducción, en la especie caprina, se puede modificar y controlar por medio de técnicas probadas. Las técnicas van desde relaciones socio-sexuales entre individuos como el efecto macho y efecto hembra (Flores-Najera *et al.*, 2010; Rosales-Nieto *et al.*, 2011), la modificación del patrón de la percepción del fotoperiodo, la aplicación de hormonas exógenas (como la progesterona o los progestágenos comúnmente impregnados en dispositivos intravaginales) hasta efectos nutricionales que impactan en la reproducción del animal (Abecia *et al.*, 2001; Meza-Herrera and Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2013b, 2014a, 2014b, 2014c).

#### **3.7.1. Efecto macho**

Se denomina “efecto macho” al efecto que provoca la presencia de los machos sobre la inducción de la actividad sexual en las cabras a principios de la estación reproductiva y en el anestro superficial, siempre y cuando las hembras hayan estado aisladas de los machos durante un período no menor a un mes. El efecto macho, en las cabras de la raza Angora en las regiones de la Patagonia, es capaz de inducir la actividad cíclica provocando un mayor porcentaje de estros fértiles (43%) entre los días 8 y 10 después de la introducción de los machos (Gibbons *et al.*, 1994). El porcentaje de hembras en estro por medio del efecto macho varía según las razas, época del año y en especial el estado nutricional de los animales (Cueto *et al.*, 2000).

En las cabras pre-púberes, el efecto macho está muy relacionado con el desarrollo corporal y por lo general el porcentaje de hembras inducidas al estro es más baja y variable (Cueto *et al.*, 2000). A nivel hormonal, la presencia del macho aumenta la actividad de la hipófisis anterior de las hembras. Esto provoca una elevación de la frecuencia y un aumento de la amplitud de la secreción pulsátil de la hormona luteinizante (LH). Esta última actúa sobre el ovario estimulando el crecimiento folicular y consecuentemente provoca un aumento de la secreción estrogénica que va a determinar la secreción del pico preovulatorio de LH y por consiguiente la ovulación (López, 1980).

### **3.7.2. Efecto hembra**

El efecto socio-sexual que provocan los machos en las hembras (efecto macho) no se debe sólo a la estimulación feromonal que proviene del macho, ya que para que dicho efecto se exprese con toda su intensidad, es necesario el contacto físico entre macho y hembra (Walkden *et al.*, 1993b). Hembras que se encuentran en estro reproductivo son capaces de estimular una respuesta ovulatoria en otras hembras que se encuentran en anestro sin la necesidad de contar con la presencia de un macho (Walkden-Brown *et al.*, 1993; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2013; Carrillo *et al.*, 2014). Además, se ha reportado que, la introducción de hembras en estro es capaz de estimular la ovulación en proporciones semejantes a las que se manifiestan con el efecto macho (Walkden-Brown *et al.*, 1993; Álvarez *et al.*, 1999).

### **3.7.3. Efecto fotoperiódico**

Los tratamientos fotoperiódicos se han desarrollado y experimentado para inducir la actividad sexual del caprino durante el anestro reproductivo en razas estacionales originarias de las latitudes medias y altas, como por ejemplo la cabra Alpina Francesa.



Estos tratamientos se llevan a cabo al alternar los días largos (o crecientes) y los días cortos (o decrecientes), ya que no existe ningún fotoperiodo constante que permita mantener una actividad sexual permanente. Dependiendo de las circunstancias, los días largos pueden ser reales (luz artificial o natural), por ejemplo, 16 horas de luz diarias, adicionados con 1 o 2 horas de luz artificial proporcionando entre 15 y 18 horas después del atardecer que es fijado artificialmente. Por otro lado, los días cortos o decrecientes, pueden ser artificiales (en edificios oscuros) o también se pueden emular mediante la administración de melatonina (Chemineau *et al.*, 1993).

#### **3.7.4. Efecto hormonal**

La inducción al estro y la ovulación pueden ser provocados mediante la utilización de hormonas como la progesterona, los progestágenos, eCG, estradiol, hCG, GnRH; sin embargo, el porcentaje de cabras, que son inducidas al estro y a la ovulación es muy variable (Alvarado-Espino *et al.*, 2016; Gonzalez-Alvarez *et al.*, 2016; Contreras-Villarreal *et al.*, 2016). Al respecto se ha reportado que, en cabras de raza Angora durante la época de anestro reproductivo, sólo el 13% de las hembras ovulan cuando se utilizan esponjas vaginales con 45 mg de FGA, mientras que el 90% de éstas ovulan cuando reciben las mismas esponjas, más PMSG (Ritar *et al.*, 1984). En cabras Alpinas que fueron tratadas sólo con esponjas vaginales (45 mg de FGA), durante la época de anestro, ninguna presentó celo; por otro lado, el 100% de las que fueron tratadas con esponjas y hormonas gonadotrópicas entraron en celo (Tamanini *et al.*, 1985). En cabras Boer tratadas con esponjas vaginales (60 mg de MAP) 53% presentan celo, comparadas con el 100% de las que son inyectadas con PMSG (Greylling y Van Niekerk, 1991).

La ovulación puede ser provocada mediante la estimulación del pico preovulatorio de LH con PMSG, con una asociación de PMSG y GnRH o con la HMG (Tamanini *et al.*, 1985). La PMSG provoca un pico importante de estradiol, induce la aparición del estro, el pico preovulatorio de LH y la ovulación (Chemineau *et al.*, 1982; Pelleiter *et al.*, 1982; González-Stagnaro *et al.*, 1984; Tamanini *et al.*, 1985). La asociación PMSG-GnRH provoca un pico de estradiol aún más importante que la aplicación de PMSG por si sola. Por otro lado, la respuesta estrogénica a la inyección de HMG es mucho más pequeña que la que se tiene con la PMSG (Tamanini *et al.*, 1985).

### **3.7.5. Efecto nutricional**

La mejora de la tasa ovulatoria y reproductiva que es realizada a través de la suplementación nutricional, puede lograrse mediante el aumento en el peso vivo y la condición corporal (Meza-Herrera *et al.*, 2014a, 2014b, 2014c, 2017). Al respecto se han propuesto tres efectos de la nutrición sobre la función reproductiva: a) efecto estático, que se logra a largo plazo mediante hembras más pesadas; b) efecto dinámico, generado con una mayor alimentación durante 3-4 semanas (Scaramuzzi *et al.*, 2006); y c) efecto agudo, generado sin la promoción de cambios en el peso vivo de la hembra, también denominado efecto inmediato mediante el suministro de suplementos nutricionales por <10 días (Martín *et al.*, 2004).

### **3.8. Latencia del estro**

El estro dura en promedio de 24 a 48 horas y se puede identificar por hiperactividad, búsqueda del macho, movimiento de la cola, frecuente micción; la vulva se edematiza y se enrojece; además, la hembra presenta inmovilidad frente al macho. Cuando se presenta la ovulación, se descarga un mucus de color blanquecino cremoso mismo que

es transparente al inicio del estro. Las montas entre hembras no son tan frecuentes en la hembra caprina como en la vaca, pero sí se presenta. La ovulación ocurre de 30 a 42 horas después del inicio del estro. Para detectar la presencia de estros, en campo, se utilizan machos vasectomizados con un arnés marcador; en el corral se pueden utilizar machos enteros con un delantal que impide la penetración: las hembras que aceptan al macho están en estro (Cueto *et al.*, 2000).

### **3.9. Tasa ovulatoria**

El fenómeno de la ovulación ha sido estudiado desde hace muchos años y ha sido atribuido principalmente a dos hormonas: folículo estimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH) (Karsh, 1984; Goodman, 1988). En forma indirecta también están involucrados los estrógenos y la progesterona (Downey, 1980; Bindon y Piper, 1984). El estudio de la tasa ovulatoria (TO) es importante desde el punto de vista reproductivo y económico, ya que en las ovejas jóvenes el menor tamaño de camada se debe a que su TO es baja, la cual se incrementa con la edad (Rojas, 1990). La tasa ovulatoria también es modificada por efectos de la suplementación nutricional (Meza-Herrera and Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2013a, 2013b, 2014c).

### **3.10. Suplementación estratégica y comportamiento reproductivo**

Un costo energético es atribuido a los componentes fisiológicos y conductuales del proceso reproductivo. Ya que, en caprinos y ovinos que han sido criados con bajos niveles de nutrición se han observado bajos niveles reproductivos (Lindsay *et al.*, 1993). El rendimiento reproductivo de caprinos y ovinos se puede mejorar por medio de periodos cortos y específicos de alimentación: “suplementación estratégica” (Martin *et al.*, 2004). La suplementación alimenticia estratégica se enfoca en los

mecanismos subyacentes que han evolucionado para permitir que las cabras y las ovejas se reproduzcan en ambientes cambiantes (Blache y Martin, 2009).

### **3.11. Alimentación y suplementación con nopal**

Existen evidencias de que, el nopal (*Opuntia spp*) junto con el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el maguey (*Agave americana*) fueron un alimento fundamental para los grupos chichimecas del centro y norte del país. Por otro lado, el nopal ha sido utilizado como alimento para vacas, borregas y cabras desde el año 1541, año en que las primeras cabezas de ganado fueron traídas de España y que pastaban en los agostaderos del estado de Tlaxcala (González, 2006). Además, es importante señalar su importancia y uso en bebidas, medicinas, tintes y en prácticas de magia y religión (Anaya y Bautista, 2008).

En México, algunas especies de nopal forrajero (*Opuntia rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. Cantabrigiensis*, *O. leucotricha*, *O. azurea*, *O. robusta* y *O. streptacantha*) se han utilizado como un alimento económico y asequible para el ganado. El uso del nopal como forraje se acentúa particularmente en las épocas en las que el pasto es escaso; sin embargo, su nivel de proteína es muy bajo por lo que es necesario enriquecerlo para que pueda ser usado como un suplemento proteico para el ganado (De la Rosa y Santana 2000; López *et al.*, 2001; Aranda *et al.*, 2009). Además, se ha demostrado que la suplementación con *Opuntia* incrementa la producción de leche y mejora la calidad de la mantequilla en términos de consistencia, vida de anaquel y proporciona un color atractivo (dorado) al producto final (FAO, 2003).

Por otra parte, Aranda *et al.* (2008) usaron *Opuntia* para disminuir los costos de producción de carne en ganado ovino. Los resultados que obtuvieron fueron exitosos, ya que lograron una disminución de costos de entre 48 y 65%. Los investigadores

incluyeron *Opuntia*, en la dieta de los animales, en proporciones que variaron de entre 15 y 30% en base seca. El nopal usado en dicho estudio fue ofrecido en fresco y sometido a un proceso de picado, previo a su utilización en la dieta de los ovinos. En el mismo sentido, Flores y Aguirre (1992) mencionan que, el consumo de agua en borregos disminuye cuando se suplementa con nopal; representando el agua suministrada por el nopal un 99, 77 y 12% al suministrarlo fresco, semiseco y seco, respectivamente. De la misma manera ocurrió en bovinos, sin embargo, los caprinos y los ovinos son mucho más eficientes para cumplir sus requerimientos de agua a partir del nopal; ya que, consumen mayor cantidad de alimento en relación a su peso vivo y sus excretas contienen mayor cantidad de materia seca.

Por otro lado, se ha propuesto que la suplementación con *Opuntia* promueve beneficios en la salud humana (Alimi *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2010). Esto debido a que se ha reportado que, el *Opuntia* posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y efectos beneficiosos sobre el metabolismo de lípidos y glucosa; ya que, esta cactácea tiene, de manera natural, un alto contenido de polifenoles (Butera *et al.*, 2002; Kuti, 2004). Lo que puede generar posibles beneficios en el tratamiento contra trastornos metabólicos tales como la diabetes y la obesidad (El-Mostafa, 2014).

### **3.12. Enriquecimiento proteico del nopal**

En Cuba, la fermentación dirigida a ingredientes de alta digestibilidad como la melaza, pulpa de cítricos y subproductos frutales ha sido utilizada durante muchos años (Elias y Lezcano, 1993; Elías, 2007). En la última década, esta tecnología fue adoptada y adaptada en México para la utilización de productos, como el nopal, con bajo contenido proteico, pero la tecnología que fue propuesta para su aplicación por investigadores brasileños y mexicanos involucraba un proceso muy laborioso y de alto

costo ya que se requería deshidratar y moler el nopal previo a la fermentación, por lo que no resultaba viable su aplicación para los pequeños y medianos productores (Aranda, 2006).

Sin embargo, recientemente, Flores *et al.* (2017) han implementado el proceso de enriquecimiento proteico mediante la fermentación semisólida utilizando una máquina cortadora y mezcladora de nopal, sin la necesidad de una deshidratación previa. Esto mediante la utilización de la levadura *Sacharomyces cereviceae* (1%) y una fuente de nutrientes (urea al 0.5% y sulfato de amonio al 0.05%). En condiciones naturales el valor promedio de proteína total del nopal es de 4% pero, mediante el proceso de fermentación semi sólida, Flores *et al.* (2017) han logrado incrementar el nivel de proteína total del nopal hasta en un 30%.

Por su parte, Cabrera-Baeza *et al.* (2015) implementaron un sistema de fermentación sólido utilizando nopal forrajero (*Opuntia ficus indica*) y a través del crecimiento aeróbico de levaduras (*Saccharomyces cereviciae*). Estos inocularon el nopal molido con 0, 0.25, 0.5 y 1% de levadura seca de panificación en recipientes de 1.5 kg de capacidad por triplicado. A las 0, 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas de fermentación el material se agitó durante 5 segundos. El mayor porcentaje de PC (63%) fue obtenido con el 1% de levadura y a las 36 h de fermentación. También, adicionaron urea como fuente de nitrógeno al 0, 0.5, 1 y 1.5%. El mayor porcentaje de PC (500%) fue obtenido con el 1.5% de urea y, el tiempo óptimo de fermentación donde se alcanzó el 55% de PC en base seca, fue a las 3 horas.

### **3.13. Perfil metabólico**

El análisis del perfil metabólico (PM) es usado como instrumento paraclínico. Éste permite estudiar trastornos metabólicos y evaluar el balance nutricional del organismo

(Bücher-Bernales, 1998; Cedeño *et al.*, 2011). También, se emplea en el diagnóstico de enfermedades en la producción (Bedoya *et al.*, 2012). Los PM permiten, en los animales, determinar concentraciones de algunos compuestos orgánicos que son indicadores del balance de algunas vías metabólicas; así mismo, permiten comparar los resultados con los valores de referencia de la media poblacional (Álvarez y Jorge, 2001; Bedoya *et al.*, 2012). En los rumiantes, el PM puede usarse para llevar un seguimiento de la adaptación metabólica y para diagnosticar desequilibrios metabólico-nutricionales (Brito *et al.*, 2006; Batista, 2007) o su posible acción respecto al comportamiento reproductivo (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2014b; 2017).

La cuantificación de los metabolitos sanguíneos, a través del PM, no representa un método de trabajo muy estricto; ya que, el número de indicadores que la componen puede ser seleccionado por el investigador en función del problema que se desea abordar. Los metabolitos seleccionados deben tener una concentración estable en el torrente sanguíneo para que puedan arrojar datos confiables. Además, debe haber un fundamento fisiológico para interpretar los datos en caso de obtener concentraciones anormales (Álvarez y Jorge, 2001).

El estado metabólico de un animal debe ser estudiado utilizando constantes bioquímicas sanguíneas como: hemoglobina (Hb), volumen globular aglomerado (VGA), glucosa, betahidroxibutirato, urea, proteínas, globulinas, albúminas, calcio (Ca), fósforo inorgánico (Pi), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y enzimas. Estas constantes bioquímicas son representantes de las principales vías metabólicas del organismo: la glucosa y las proteínas totales (PT) son los más importantes de las vías metabólicas en una producción. La glucosa representa el metabolismo energético y; la

urea, la hemoglobina y la albúmina representan el metabolismo proteico (Ceballos *et al.*, 2002; Oblitas, 2008).

### **3.13.1. Proteína**

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos que tienen un alto peso molecular. Estas, así como los carbohidratos y las grasas, contienen carbohidratos, hidrógeno, oxígeno, todas contienen nitrógeno y, generalmente, azufre. Las proteínas se encuentran en todas las células vivas y tienen una estrecha relación con las actividades llevadas a cabo por la vida celular. Cada especie de organismo está formado por proteínas específicas, y cada individuo en particular tiene numerosas proteínas diferentes en sus células y tejidos (McDonald *et al.*, 2002).

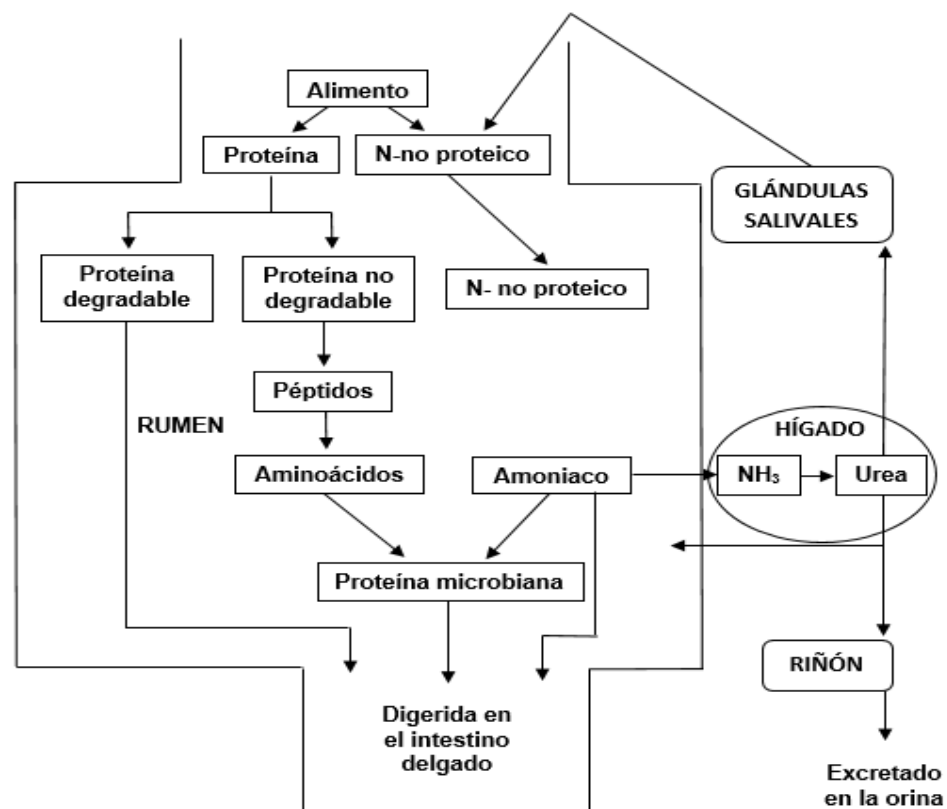
### **3.14. Digestión de las proteínas en el rumen**

Las bacterias del rumen son capaces de sintetizar proteínas (proteína bacteriana) de alto valor biológico a partir de proteínas de baja calidad. La proteína bacteriana se puede aprovechar en el abomaso o en el intestino. El ciego y el colon son fermentadores postgástricos que, al igual que el rumen, también cuentan con una población microbiana capaz de fermentar alimento que no fue degradado ni en el estómago ni en el intestino delgado (celulosa y hemicelulosa); sin embargo, la proteína bacteriana formada en esta cámara postgástrica no puede ser aprovechada se pierde en las heces (Van-Lier y Regueiro, 2008).

Los micro organismos sintetizan proteína microbiana a partir de proteínas provenientes tanto del alimento, como de nitrógeno no proteico y de nitrógeno reciclado. La mayor parte de las proteínas del alimento que llegan al rumen, se transforman en proteína microbiana. De esta manera la proteína vegetal es transformada en proteína de mayor valor biológico, el cual está determinado por la



composición de aminoácidos (AA): entre más parecidos sean los aminoácidos a la de las proteínas del rumiante, mayor es el valor biológico. Los micro organismos utilizan los AA de las proteínas que el animal consume en forma de forraje para sintetizar sus propias proteínas; sin embargo, es importante señalar que no sólo utilizan los AA que obtienen del forraje consumido, si no que pueden fermentar los AA y transformarlos en nitrógeno y esqueletos carbonados para con estos volver a sintetizar AA, otorgando así un mayor valor biológico a las proteínas. En la fermentación de los AA se libera nitrógeno en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y los esqueletos carbonados son AGV de distintos tipos (Van-Lier y Regueiro, 2008).



**Figura 1.** Digestión y metabolismo de los compuestos nitrogenados en el rumen (Tomada de McDonald *et al.*, 2002).

### **3.15. Ciclo de la urea**

El amoníaco puede escapar del rumen y, mediante la vena porta, llegar al hígado en donde es transformado en urea; puesto que, es tóxico para el animal. Este es un proceso eficiente sólo cuando la cantidad de amoníaco absorbida no sobrepasa la capacidad del hígado para almacenarlo y transformarlo en urea. La urea, que ha sido sintetizada por el hígado, pasa a la circulación general de la sangre vía la vena hepática en donde puede tener varios destinos. Puede pasar a las paredes del rumen para luego ser excretado hacia el mismo donde puede ser aprovechado como nitrógeno no proteico; sin embargo, esta no es la única manera por la que la urea puede llegar al rumen, ya que también puede llegar por medio de las glándulas salivales. La urea es secretada con la saliva y pasa al rumen con el bolo alimenticio o el de la rumia (Van-Lier y Regueiro, 2008).

Una de las grandes diferencias entre la saliva de los animales monogástricos y la de los rumiantes es precisamente el contenido de urea presente en la saliva de estos últimos. Este reciclaje de nitrógeno es lo que convierte al metabolismo proteico de los rumiantes en uno de los más eficientes y adaptados a los bajos niveles de proteína en la dieta; sin embargo, cuando un rumiante es alimentado con exceso de proteínas puede perder gran parte del nitrógeno en forma de urea por la orina. La transformación de amoníaco en urea por el hígado se conoce como *ciclo de la urea* (Van-Lier y Regueiro, 2008).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una granja comercial de cría caprina en la localidad Seis de Enero ubicada en el Municipio de Lerdo, Durango (25° 31'11'' latitud norte y 103° 36' 09'' longitud oeste; y a una altura de 1,148 msnm). Las condiciones medioambientales son de un clima muy seco, semi-cálido y con lluvias en verano (BW(h)w''). La temporada de lluvias se presenta en los meses de junio, julio y agosto. Su precipitación media anual es de 253 mm. La temperatura media anual es de 20°C y tiene una mínima mensual de 12°C y una máxima que llega a superar los 30°C (García, 2004). El tipo de vegetación que predomina es de matorrales xerófilos (*Ambrosia*, *Artemisa*, *Enclia*, *Eupatorium*, *Flourensia*, entre otros), presentándose también leguminosas (*Prosopis*), gramíneas (*Bouteloa*, *Sporobolus*, *Hilaria*, *Muhlenbergia*, entre otras) y cactáceas (*Opuntia*) (Rzedowski, 2006).

### 4.2. Animales y diseño de tratamientos

La craza de genotipos de cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) no preñadas, no lactantes, en anestro reproductivo, con peso vivo (PV) y condición corporal (CC) homogénea fueron mantenidas durante el día en los pastizales. A partir del 15 de febrero, las hembras fueron separadas de los machos para eliminar cualquier contacto visual, sonoro u olfativo. Posteriormente, el 20 de abril durante la mitad de la temporada de anestro, las cabras fueron divididas aleatoriamente en tres grupos experimentales, con peso vivo (PV; 40-43 kg) y condición corporal (CC; 1.8-2.0) homogéneas: 1). Control (CONT; n=15; 42.14±1.58 PV), 2). *Opuntia* Normal (ONE; n=15; 43.93±1.58 PV) y 3). *Opuntia* Enriquecido (OPE; n=15; 44.58±1.58 PV). Tanto las cabras ONE y OPE fueron suplementadas individualmente con 160 g día durante

un período de adaptación de 10 días (20 al 30 de abril). Todos los grupos de cabras fueron manejados 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 parásitos internos y externos.

### **4.3. Suplementos experimentales y horario de suplementación**

El grupo experimental OPE consideró el enriquecimiento proteico de cladodios por medio de un proceso fermentativo semisólido mediante la mezcla de pequeñas rebanadas de pencas de *Opuntia* inoculadas con *Saccharomyces cerevisiae* (1%), urea (1%) y sulfato de amonio (0.1%) en un biorreactor (NOPAFER - Registro No. 2641 IMPI) durante un período de 10 h. A partir de entonces, los cladodios enriquecidos fueron semi-secados a temperatura ambiente durante 72 h. Se realizó un análisis bromatológico del nopal natural (tanto fresco como seco) y enriquecido proteicamente (tanto fresco como seco) en el laboratorio AGRO LAB MÉXICO, S.A. DE C.V. ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. La suplementación del grupo ONE y OPE fue de 09:00 a 10:00 h antes de su actividad de recorrido durante un período de ajuste de 10 días.

Los tres grupos experimentales se mantuvieron juntos durante el día en un pastizal semiárido, aunque separados por la noche. A partir de entonces, las cabras de los grupos ONE y OPE recibieron el mismo horario de suplementación durante un período de 41 días (1 de mayo al 10 de junio). Las cabras fueron sujetas a un escaneo ultrasonográfico los días: 05, 10 y 15 de mayo previo al inicio del empadre experimental para confirmar el estado de anestro reproductivo y, uno más el día 10 de junio para cuantificar tasa ovulatoria. Además, tres días antes de la introducción de los

machos, las cabras de los tres tratamientos fueron tratadas con una inyección intramuscular de progesterona (20 mg; Fort Dodge, DF, México) con la finalidad de reducir la ocurrencia de ciclos lúteos cortos (Chemineau *et al.*, 2006).

**Cuadro 1.** Composición química media (SD), base-seca, de cladodios de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck enriquecidos en su contenido proteico (OPE), así como no enriquecidos (ONE) y ofrecidos como suplemento a cabras adultas de raza mixta (Alpine-Saanen-Nubian x Criollo) expuestas a machos tratados con testosterona en la época de anestro reproductivo (mayo-junio) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

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

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

#### 4.4. Manejo de los machos: en busca del efecto macho

Las cabras de los tres tratamientos fueron expuestas a seis machos adultos durante 10 días (del 20 al 30 de mayo); los machos fueron sexualmente experimentados de razas cruzadas (Alpina-Saanen, dos por tratamiento) de 3 a 4 años de edad, de libido y fertilidad probadas. 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, una mezcla mineral, además, se les ofreció 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 durante 3 semanas con la finalidad de inducirlos a un estado de actividad sexual (Luna-Orozco *et al.*, 2012). Los machos fueron

mantenidos permanentemente en esos corrales; por lo tanto, estuvieron en contacto con las cabras desde 18:00 hasta 08:00 h todos los días en lo que se denomina empadre nocturno.

#### **4.5. Análisis ultrasonográfica de la función ovárica**

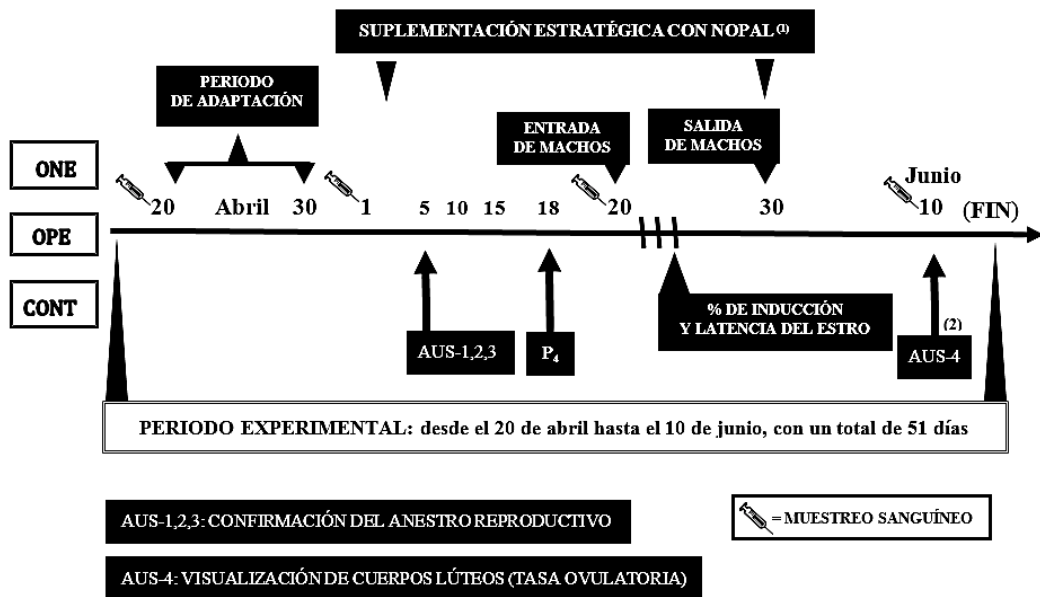
El periodo de empadre experimental inició el 20 de mayo y duró 10 días. La incidencia diaria de cabras que mostraron signos de estro se registró una vez definidos los comportamientos de inicio de la ovulación como resultado del efecto macho. El comportamiento estral se verificó durante una hora dos veces 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 realizaron tres escaneos de ultrasonido transrectal en tiempo real modo B (Aloka SSD 500 Echo, Overseas Monitor Corp. Ltd., Japón) los días 05, 10 y 15 de mayo antes del empadre experimental con la finalidad de confirmar el estado de anestro reproductivo, y uno más el día 10 de junio después de la introducción de los machos para cuantificar la tasa ovulatoria (número de cuerpos lúteos por cabra). Tanto los análisis ultrasonográficos (AUS) previos al empadre, así como el realizado después del empadre experimental fueron realizados por un operador experto. Los ovarios se visualizaron brevemente en una ampliación de la imagen de 1.5x en los tres grupos experimentales expuestos al efecto macho para cuantificar la tasa ovulatoria.

#### **4.6. Muestreo sanguíneo intermitente: metabolitos sanguíneos**

A partir del 20 de abril y hasta el 10 de junio, se realizó un muestreo intermitente de sangre con 4 muestras por cabra, 60 muestras por tratamiento con un total de 180 (Figura 2). Las muestras de sangre fueron colectadas mediante venopunción de la yugular con 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 (1,500 x g, 15 min), cada muestra de suero, junto con su réplica, fue almacenada en tubos de polipropileno a -4 °C. Las muestras fueron analizadas mediante análisis espectrofotométricos (Coleman 15 Junior II). La concentración sérica de proteínas totales (PS) fue determinada mediante un kit basado en el ácido bicincónico considerando como estándar a la albúmina sérica bovina 16 (Pierce Chemical, Rockford, IL, USA), mientras que la urea en suero (US) fue cuantificada mediante el uso del kit 640-a basado en la ureasa-18 (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA).

Las hembras fueron separadas 93 días de los machos, fueron 10 días de adaptación a la suplementación con nopal proteicamente enriquecido más 41 días de suplementación en hembras (20 días pre-empadre, 10 días de empadre y 11 días después del empadre). La cuantificación de CC y PV se realizó el 1 de mayo (CC-inicial y PV-inicial), el 20 de mayo (PV-intermedio: periodo del 1 de mayo al 20 de mayo) y el 10 de junio (PV-final: periodo del 20 de mayo al 10 de junio). Una representación esquemática con las principales actividades realizadas durante el protocolo experimental, se presenta en la Figura 2.



(1) Suplementación con nopal, 160 gr/cabra/día x 41 días  
 (2) AUS= Análisis ultrasonográfico en ovario

**Figura 2.** Protocolo experimental de la suplementación dirigida con cladodios de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck proteicamente enriquecidos (OPE), no enriquecidos (ONE) y grupo control no suplementado (CONT) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45) expuestas a machos tratados con testosterona en condiciones extensivas en pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

#### 4.7. Análisis estadístico

El peso vivo, la condición corporal y las variables reproductivas (función ovárica) de las cabras fueron evaluados mediante un ANOVA con un diseño completamente al azar, con un arreglo de parcelas divididas para muestras repetidas en el tiempo (Gill y Hafs, 1971). La actividad de la función ovárica consideró la inducción al estro (IE, medida en porcentaje), la latencia del estro (LE, medida en horas) y la tasa ovulatoria (TO, medida en unidades). El procedimiento MIXED (PROC MIXED) fue utilizado para evaluar las variables proteína total en suero (PTS) y urea en suero (US) a través del tiempo. En el evento de un efecto significativo, la separación de medias consideró el procedimiento LSD, para probar sus diferencias mediante el procedimiento MEANS del procedimiento GLM (PROC GLM) del SAS (SAS Institute Inc. V9.1 Cary, NC, EE.UU.) (Littell *et al.*, 1991). El nivel de significancia fue fijado a  $P < 0.05$ .



## V. RESULTADOS

No existieron diferencias ( $P>0.05$ ) para el PV - inicial (ONE: 43.93 kg $\pm$ 1.58; OPE: 44.58kg $\pm$ 1.70; CONT: 45.14kg $\pm$ 1.58), PV - intermedio (ONE: 43.56kg $\pm$ 1.42; OPE: 43.83kg $\pm$ 1.53; CONT: 45.67kg $\pm$ 1.42;  $P>0.12$ ) ni para el PV - final (ONE: 43.78kg $\pm$ 1.70; OPE: 44.50kg $\pm$ 1.84; CONT: 45.36kg $\pm$ 1.70;  $P>0.32$ ) a lo largo del periodo experimental. De igual manera ocurrió con la CC - inicial (ONE: 2.57 $\pm$ 0.13; OPE: 2.58 $\pm$ 0.14; CONT: 2.57 $\pm$ 0.13) y con las concentraciones séricas de proteína total (ONE: 6.20 g dL $\pm$ 0.38; OPE: 5.91 g dL $\pm$ 0.41; CONT: 5.95 g dL $\pm$ 0.38;  $P>0.85$ ) y urea (ONE: 49.75 mg dL $\pm$ 2.36; OPE: 46.50 mg dL $\pm$ 2.55; CONT: 46.89 mg dL $\pm$ 2.36;  $P>0.58$ ) al no existir diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 2).

Sin embargo, respecto a la función ovárica, sí existieron diferencias ( $P<0.05$ ) entre tratamientos en los tres parámetros reproductivos que fueron evaluados. En el grupo de cabras que fue suplementado con nopal proteicamente enriquecido y expuesto al efecto macho, el 100% de las hembras fueron inducidas al estro. Por su parte el grupo suplementado con nopal natural y expuesto al efecto macho un 57% de las hembras fueron inducidas al estro y el grupo control no suplementado en el que el sólo el 43% de las hembras fueron inducidas al estro.

Con respecto a la latencia del estro, los grupos OPE y ONE mostraron un aumento en las horas de duración del estro (62 y 60 h, respectivamente), difiriendo ( $P<0.05$ ) respecto al grupo, quienes mostraron la menor latencia del estro con solo 32 h. Finalmente, la mayor ( $P<0.05$ ) tasa ovulatoria fue observada en el grupo OPE (1.33), seguidas de los grupos ONE (0.71) y CONT (0.43); los resultados se concentran en el Cuadro 2.

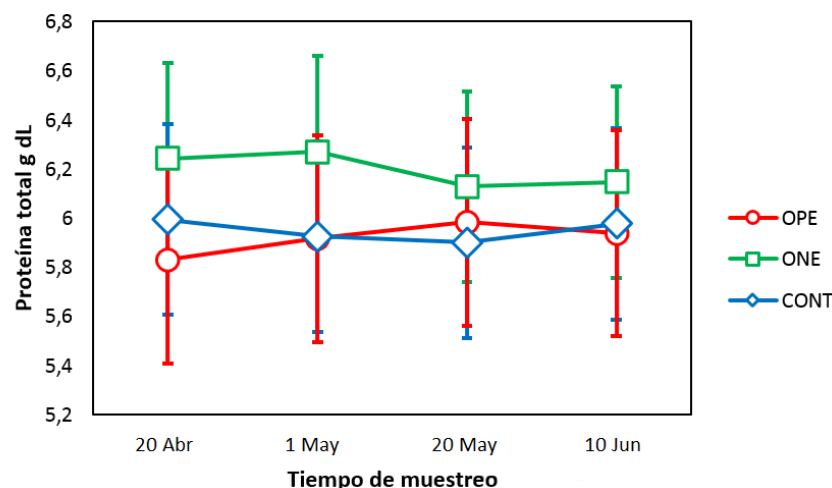
**Cuadro 2.** Medias mínimas de cuadrados con respecto a condición corporal inicial (CC), peso vivo (PV-inicial, PV-intermedio y PV-final), proteína total en sangre (PTS), urea en sangre (US) y; parámetros reproductivos medidos mediante la inducción al estro (IE), la latencia del estro (LE) y la tasa ovulatoria (TO) en cabras adultas (Alpina-Saanen-Nubia x Criollo; n=45); grupos de cabras suplementadas con *Opuntia megacantha* Salm-Dyck; *Opuntia* ofrecido no enriquecido (ONE), proteicamente enriquecido (OPE) y grupo control (CONT) no suplementado. Todas las cabras fueron expuestas a machos tratados con testosterona y a las variaciones naturales del fotoperiodo (de mayo a junio: temporada de anestro) bajo condiciones de pastizal semiárido-subtropical en el norte de México (25° LN).

<b>Variables</b>	<b>OPE</b>	<b>ONE</b>	<b>CONT</b>	<b>EE</b>
CC - inicial (unidades)	2.58 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	0.14
PV- inicial (kg)	44.58 <sup>a</sup>	43.93 <sup>a</sup>	45.14 <sup>a</sup>	1.70
PV- intermedio (kg)	43.83 <sup>a</sup>	43.36 <sup>a</sup>	45.67 <sup>a</sup>	1.53
PV - final (kg)	44.50 <sup>a</sup>	43.78 <sup>a</sup>	45.36 <sup>a</sup>	1.84
PTS (g dL)	5.91 <sup>a</sup>	6.20 <sup>a</sup>	5.95 <sup>a</sup>	0.41
US (mg dL)	46.50 <sup>a</sup>	49.75 <sup>a</sup>	46.89 <sup>a</sup>	2.55
IE (%)	100% <sup>a</sup>	57% <sup>ab</sup>	43% <sup>b</sup>	0.18
LE (h)	62.00 <sup>a</sup>	60.00 <sup>a</sup>	32.00 <sup>b</sup>	6.00
TO (unidades)	1.33 <sup>a</sup>	0.71 <sup>ab</sup>	0.43 <sup>b</sup>	0.25

<sup>a,b</sup>= Diferentes literales en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas (P<0.05).

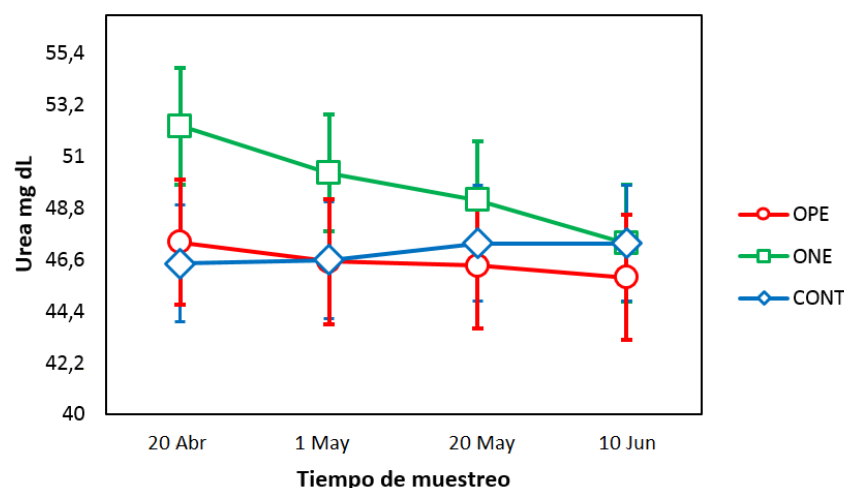
EE= Error estándar de medias mínimas de cuadrados más conservador. La escala de condición corporal es de 1 a 4.

Los niveles séricos de proteína total a través del tiempo no presentaron diferencias significativas (P>0.05). Por lo tanto, las diferencias observadas, entre los tratamientos de las diferentes respuestas ováricas evaluadas, no pueden ser explicadas por la concentración sérica de proteína total. Sin embargo, es importante resaltar que, en las cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido hubo un incremento de proteína total en sangre durante los primeros tres muestreos; en el grupo ONE hubo un leve incremento en el segundo muestreo y un decremento muy drástico en el tercer muestreo. Finalmente, en el CONT la proteína total tendió a disminuir durante los tres primeros muestreos (Gráfica 1).



**Grafica 1.** Concentraciones séricas de proteína total a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con *Opuntia* no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN ).

Los niveles séricos de urea en sangre a través del tiempo no presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Los niveles más bajos se presentaron en el grupo de cabras suplementadas con *Opuntia* proteicamente enriquecido. En este grupo hubo una tendencia decreciente, lo que sugiere una retroalimentación negativa entre proteína y urea para el grupo OPE. Por otro lado, ni la CC ni el PV están relacionados con los niveles séricos de urea puesto que no hubo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para ninguna de estas variables (Gráfica 2).



**Grafica 2.** Concentraciones séricas de urea a través del tiempo de los tratamientos: suplementado con *Opuntia* proteicamente enriquecido (OPE), suplementado con *Opuntia* no enriquecido (ONE) y control (CONT) durante el periodo de abril a junio, en cabras anéstricas expuestas al efecto macho en pastizales marginales del norte de México (25° LN ).

## VI. DISCUSIÓN

La hipótesis propuesta al inicio del presente estudio establecía que la suplementación con cladodios de nopal (*Opuntia megacantha* Salm-Dyck), enriquecidos en su contenido proteico, promueve un efecto positivo sobre la reactivación de la función ovárica, incrementando los niveles séricos de proteína total y reduciendo los de urea en cabras con un alto encaste a genotipos lecheros al ser expuestas al efecto macho en la época de anestro reproductivo. Dicha hipótesis es parcialmente aceptada ya que, aunque sí existieron diferencias en favor del grupo OPE respecto a la función ovárica considerando las variables inducción al estro, latencia del estro y tasa ovulatoria, los niveles séricos de proteína y urea no difirieron entre tratamientos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que existe un efecto positivo de la suplementación con nopal proteicamente enriquecido sobre la actividad de la función ovárica en las cabras anéstricas expuestas al efecto macho, aunque no hay elementos para relacionar dicho comportamiento con diferencias en los niveles séricos de proteína total y urea. Asimismo, no existieron diferencias entre tratamientos respecto a PV y CC, lo cual coincide con lo reportado por Meza-Herrera *et al.* (2017) quienes no reportaron diferencias significativas entre tratamientos en cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido vs suplementadas con nopal natural o el grupo testigo. Coincidentemente, en otros estudios que evaluaron la suplementación con nopal en ovejas Barbarine no reportaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a PV ni CC (Rekik *et al.* 2010, 2012; Sakly *et al.*, 2014).

Meza-Herrera *et al.* (2017) no reportaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la presencia de celo, lo cual concuerda con lo reportado por Sakly *et al.* (2014) y con Rekik *et al.* (2012). En el presente estudio, el porcentaje de

inducción del estro difirió ( $P < 0.05$ ) entre grupos experimentales ya que el 100% de las cabras suplementadas con nopal proteicamente enriquecido y expuestas al efecto macho mostraron presencia de estro; lo cual sugiere que la suplementación proteica con *Opuntia* potencializó al efecto macho en las cabras del grupo OPE respecto a los otros grupos experimentales. Scaramuzzi *et al.* (2014) reportaron una alta respuesta al efecto macho, no afectada por la suplementación con grano de lupino ni por la condición corporal, medida en el incremento de la concentración de LH. En el mismo sentido, la presentación del estro depende de la secreción de estradiol, el cual es producido en el folículo ovárico dominante. El estradiol actúa a nivel del sistema nervioso central en el hipotálamo ventromedial para inducir la presencia de estro (Wade *et al.*, 2004). Debido a esto, es posible que la suplementación a base de nopal enriquecido proteicamente haya causado un estímulo en el ovario promoviendo un mayor desarrollo folicular con mayor secreción de estradiol, aunado al efecto socio-sexual que ejercieron los machos.

El efecto macho estimula una actividad secuenciada a nivel del sistema hipotálamo-hipofisario-gonadal, generando una mayor secreción de GnRH seguida de una mayor secreción de LH y estradiol que culmina con el pico preovulatorio de LH y finalmente en la ovulación (Johnson *et al.*, 2011). Por ello, es posible que dicho escenario pudo haber sido potenciado en las cabras del grupo OPE suplementadas con nopal proteicamente enriquecido. En efecto, en el grupo OPE se observó una mayor tasa ovulatoria (1.33) respecto a las cabras suplementadas con nopal natural (0.71) y las cabras no suplementadas (0.43). Dicho comportamiento no coincide con otras investigaciones en donde no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos (Sakly *et al.*, 2014; Meza-Herrera *et al.*, 2017). Sin embargo, coincide con lo reportado

por Rekik *et al.* (2012) quienes reportaron una mayor tasa ovulatoria en las ovejas suplementadas con nopal más harina de soja (1.5) respecto a las suplementadas con harina de soja más concentrado de cebada (1.3).

Al respecto, Smith y Stewart (1990) mencionan que una suplementación proteica propicia una mejora sobre la tasa ovulatoria cuando se suplementa por un período de una semana al final de la fase lútea y durante toda la fase folicular, mientras que la suplementación energética incrementa la tasa ovulatoria cuando es ofrecida durante todo el ciclo estral. Además, Boukhliq *et al.* (1996) mencionan que el incremento de la tasa ovulatoria en ovejas sometidas a un régimen de sobrealimentación antes y durante el empadre se relaciona de manera positiva con un aumento en la frecuencia y la amplitud de los pulsos de LH, un aumento en la secreción de FSH y una menor cantidad de inhibina. Esto impacta de manera positiva el número de folículos grandes con capacidad estrogénica, los cuales son candidatos a convertirse en folículos ovulatorios.

Por lo tanto, una mejora en la nutrición es capaz de alterar el balance entre la secreción de FSH y la retroalimentación respecto al cambio en la sensibilidad debido a los efectos inhibitorios tanto de estradiol como de inhibina. De esta manera, además de un incremento en la tasa ovulatoria del grupo OPE, las horas de la latencia al estro de los grupos OPE (62 h) y ONE (60 h) fueron mayores que las del grupo CONT (32 h). Dado que un mayor número de folículos grandes son capaces de producir más estradiol y por más tiempo debido a la menor cantidad de inhibina, lo cual a su vez permite una mayor liberación de FSH. En nuestro estudio, esto posiblemente pudo incrementar la latencia del estro en el grupo ONE suplementado con nopal natural, el cual tiene una buena cantidad de energía (Nefzaoui y Ben-Salem, 2002), y del grupo

OPE suplementado con nopal proteicamente enriquecido que tiene una buena cantidad de proteína y energía (Flores-Hernández *et al.*, 2017). En contraparte, las cabras del grupo CONT sólo fueron pastoreadas y expuestas al efecto macho; por lo que es posible que, el efecto macho no haya sido suficiente para incrementar la latencia del estro en este grupo.

Por otro lado, la condición corporal es un punto clave en la buena respuesta al efecto macho, ya que ovejas con una mejor condición corporal muestran una mayor actividad ovárica en respuesta a la exposición de los machos, secretando más LH presumiblemente porque liberan más GnRH en respuesta al estímulo de las feromonas liberadas por el macho (Johnson *et al.*, 2011). En el mismo sentido, Meza-Herrera y Tena-Sempere (2012) afirman que una disminuida ingesta proteica además de generar una reducción en el peso vivo y en la ganancia diaria de peso, promueve un efecto inhibitorio sobre la síntesis y la liberación de LH. La diferencia entre especies aunado a lo anterior, tal vez influyó a que las tasas ovulatorias reportadas por Rekik *et al.* (2012) sean mayores que en el presente trabajo.

A largo plazo, el nivel de nutrición puede ser determinante tanto para el peso vivo como para la condición corporal, mientras que a corto plazo está más relacionado con una mayor concentración de nutrientes a nivel intracelular, estimulando la liberación de hormonas gonadotrópicas o actuando directamente en el ovario al aumentar su función y metabolismo (Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2012). Por ello es probable que la suplementación estratégica con nopal proteicamente enriquecido, grupo OPE, haya incrementado la eficiencia reproductiva de las cabras expuestas al efecto macho mediante una vía alterna a GnRH; es decir, a nivel de la pituitaria anterior, a nivel del ovario o ambos, en una ruta no dependiente de GnRH (Cox *et al.*,

1987). Además, la tasa ovulatoria está relacionada con el número de folículos preovulatorios que a su vez están modulados por las hormonas del eje hipófisis-ovario y por las relaciones intraováricas entre folículos, que determinan su dinámica de crecimiento y regresión (González-Bulnes *et al.*, 1994).

Según Martin *et al.* (1994; 2004), el sistema encargado de controlar la secreción de GnRH es la vía mediante la cual la actividad ovárica está influenciada por factores que tienen un importante efecto en los parámetros reproductivos. Dentro de estos se incluyen a las señales socio-sexuales, fotoperiódicas y nutricionales. En contra parte, tejidos como la glándula pituitaria y las gónadas, los cuales están relacionados con el proceso reproductivo, también pueden ser estimulados por señales metabólicas de manera independiente a la estimulación por GnRH (Blache y Martin, 2009). Por ello, es probable que las cabras del grupo OPE hayan mostrado una mejor respuesta que las del grupo CONT, ya que, estas últimas posiblemente sólo estuvieron influenciadas por un incremento de GnRH debido al efecto macho. Más aún, el grupo OPE posiblemente respondió a un incremento de GnRH por acción del efecto macho aunado a una posible estimulación metabólica a nivel gonadal debido a la suplementación con *Opuntia* proteicamente enriquecido.

Otras hormonas como el IGF-I han sido involucradas en la mejora de la respuesta reproductiva a la suplementación (Lopez-Flores *et al.*, 2018). Según Scaramuzzi y Campbell (1990), la suplementación nutricional provoca cambios en los niveles de algunas hormonas metabólicas y, de esta manera, puede promover cambios en la actividad de moduladores intraováricos a la influencia sistémica de FSH o a los efectos endocrinos, autocrinos y parácrinos de IGF-I. Para mantener los niveles de IGF-I, es necesaria una buena disponibilidad de proteína y energía; dichos nutrientes influyen



en su síntesis, acción y unión con sus proteínas receptoras (Ketelslegers *et al.*, 1995). Por lo que es probable que, la síntesis, secreción y acción del IGF-I pudieron ser estimuladas por *Opuntia* al tener un alto contenido de carbohidratos (Nefzaoui y Ben-Salem, 2002), mientras que la fermentación semi-sólida también genera un alto porcentaje de proteínas (Flores-Hernández *et al.*, 2017). Cuando los niveles de IGF-I se incrementan pueden actuar como una co-gonadotropina y promover una mayor actividad esteroidogénica que resulta en un mayor número de folículos los cuales darán lugar a un incremento de la tasa ovulatoria, sin cambios periféricos en los niveles de FSH (Meza-Herrera *et al.*, 2007a,b).

Además, tanto el IGF-I como la liberación de INS pueden ejercer un efecto estimulante en la proliferación y mitogénesis de las células de la teca y de la granulosa favoreciendo la formación de folículos preovulatorios (Davidson *et al.*, 2002). El IGF-I, también, ejerce un fuerte estímulo en la secreción folicular de esteroides y ejerce un efecto autócrino que potencia la acción de FSH en las células de la granulosa y, en las células de la teca, su efecto es parácrino y actúa de manera sinérgica con LH (Scaramuzzi *et al.*, 2006). Asimismo, los estrógenos, cuya secreción es estimulada por IGF-I, ejercen una función autócrina, estimulando la proliferación de las células granulosas y aumentando el número de receptores de FSH y de LH (Chedrese, 2003). Es por eso que, las interacciones del eje somatotrópico en las cuales actúan la GH, IGF-I, IGF-II y sus proteínas enlazadoras, son fundamentales en la fisiología del ovario (Barb *et al.*, 1996).

En el caso de los niveles de metabolitos sanguíneos, ni la suplementación con *Opuntia* proteicamente enriquecido ni con *Opuntia* natural tuvieron un efecto significativo en los niveles séricos de proteína total y urea. Lo cual coincide con lo

reportado por Rekik *et al.* (2010), quienes evaluaron la suplementación de nopal en ovejas sin observar diferencias significativas en cuanto a los niveles séricos de proteína total, cuya alta concentración está asociada a la deshidratación o a patologías infecciosas (Contreras *et al.*, 2000). Por el contrario, cuando los niveles son bajos, se relaciona más a un déficit de proteína en la alimentación o a trastornos hepáticos (Vihan y Rai, 1984; Contreras *et al.*, 2000). Asimismo, y en coincidencia con los resultados de Sánchez-Ortega (2009) quien evaluó la alimentación con nopal en cabras, en el presente estudio la urea en sangre no fue influenciada por los tratamientos. La concentración de urea en sangre es usada para evaluar el metabolismo proteico. Este metabolito es producto del amonio absorbido por el rumen o del catabolismo de amino ácidos y la ingesta de energía y proteínas puede modificar su concentración (Colin, *et al.*, 1998).

La gluconeogénesis y la síntesis de urea están en estrecha relación, ya que el ATP es necesario para llevar a cabo ambos procesos y, por lo tanto, hay una fuerte competencia por la energía. Sin embargo, cuando la tasa de gluconeogénesis y de síntesis de urea son muy altas, es probable que se inhiba la gluconeogénesis, pero no la síntesis de urea la cual depende más de los altos niveles de iones amonio. En vacas alimentadas con dietas altas en NNP se presenta una alta concentración de amonio en la sangre portal, debido a esto la energía disponible para los procesos de síntesis puede ser limitada y, por tanto, la gluconeogénesis puede ser disminuida. Por tal razón, se pueden presentar bajos niveles de oxaloacetato y disminuir la actividad del ciclo del ácido tricarbóxico, provocando una baja disponibilidad de ATP (Hibbit, 1988). Los niveles séricos de proteína total y urea reportados en el presente estudio son similares a los reportados en cabras (Boyd, 1984). Lo anterior sugiere que la energía, proporcionada por el *Opuntia* enriquecido en su contenido proteico, es suficiente para

digerir correctamente la proteína de origen microbiano resultado del proceso de fermentación semisólida o, dicho de otra manera, el suplemento a base de *Opuntia* aporta una correcta relación entre proteína y energía.

La suplementación con *Opuntia* ha demostrado ser una buena herramienta para la reproducción en diferentes niveles y en diferentes especies. En los últimos años se ha probado el poder protector del *Opuntia* al minimizar el daño oxidativo e impedir deterioros en la espermatogénesis y la producción de testosterona inducidos por dicromato de sodio en testículos de ratas (Hfaiedh *et al.*, 2014). En el mismo sentido, entre una miríada de moléculas se han aislado alcaloides, indicaxantina, neobetanina, algunos flavonoides (Valente *et al.*, 2007) y polisacáridos que son sustanciales en los cladodios de *Opuntia* y que tienen efectos antidiabéticos y antiglicación (Yang *et al.*, 2008). Diversas moléculas y nutrientes que pudieron verse involucradas en el incremento de la eficiencia reproductiva de las cabras observada en el presente estudio. Dichos resultados garantizan la continuidad de esta interesante línea de investigación de la suplementación de precisión de *Opuntia* sobre la función reproductiva.

## VII. CONCLUSIONES

La suplementación con nopal proteicamente enriquecido promovió un efecto positivo sobre la inducción al estro, la latencia del estro y la tasa ovulatoria en hembras anéstricas expuestas al efecto macho, sin diferencias entre tratamientos respecto a los niveles séricos de proteína total, urea, peso vivo y condición corporal, por lo que probablemente otros metabolitos o moléculas están directamente relacionadas a dicho comportamiento reproductivo. Los resultados sugieren que la suplementación con nopal proteicamente enriquecido potenció la respuesta de las hembras anéstricas expuestas al efecto socio-sexual de los machos, ya que se obtuvo el mayor porcentaje de inducción al estro, más horas en estro y una mayor tasa ovulatoria.

Los resultados obtenidos en el presente estudio destacan al nopal proteicamente enriquecido como una ventana de oportunidad para incrementar la eficiencia reproductiva en cabras manejadas bajo esquemas biológicamente y económicamente marginales característicos de las zonas áridas. Sin embargo, aunque el proceso de enriquecimiento proteico de nopal realizado en el presente estudio es sencillo, se requiere de un biodigestor para realizarlo. Futuros trabajos deberán evaluar la respuesta reproductiva de los caprinos al ser suplementados con este recurso natural sometido a un proceso de biofortificación para elevar su valor nutritivo en especial durante los procesos de fertilización, implantación embrionaria, placentogénesis, programación y desarrollo fetal, porcentaje de pariciones y prolificidad, entre otros aspectos.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Abad, M. y Gibbons, A. (2000). Determinación de parámetros seminales en caprinos de raza Angora. *Comunicación Técnica Prod. Anim. EEA INTA Bariloche* N° 380.
- Abecia, J. A., Forcada, F. y González, A. (2011). Pharmaceutical control of reproduction in sheep and goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 27(1), 67-79.
- Alimi, H., Hfaiedh, N., Bouoni, Z., Hfaiedh, M., Sakly, M., Zourgui, L. y Rhouma, K.B. (2010). Antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus indica* f. *inermis* root extract in rats. *Phytomedicine*, 17, 1120-1126.
- Alvarado-Espino, A.S., C.A. Meza-Herrera, E. Carrillo, V.H. González-Álvarez, J.M. Guillen-Muñoz, O. Angel-García, M. Mellado, F.G. Veliz-Deras. 2016. Reproductive outcomes of Alpine goats primed with progesterone and treated with human chorionic gonadotropin during the anestrus-to-estrus transition season. *Animal Reproduction Science*. 167(4):133-138.
- Álvarez, J. (1995). *Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante pastoreo controlado. Experiencia en un sector de la montaña de León* (Tesis de Grado). Universidad de Lleida, España.
- Álvarez, R. L., Ducoing, A. E., Zarco, L. A. y Trujillo, A. M. (1999). Conducta estral, concentraciones de LH y función lútea en cabras en anestro estacional inducidas a ciclar mediante el contacto con cabras en estro. *Vet Méx.*, 30, 25-31.
- Álvarez, C. y Jorge, L. (2001). *Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Anaya P. M. A. y Bautista Z. R. (2008). El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. pp. 167-183.

- Aranda, O. G. (2006). Enriquecimiento del nopal para el ganado. *V Symposium-Taller sobre Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México*. Marín Nuevo León, México.
- Aranda, O. G., Flores-Valdez, C. A., Cruz-Miranda, M. (2008). Inclusion of Cactus Pear Cladodes in Diets for Finishing Lambs in Mexico. *J. PACD* 10, 49-55.
- Aranda O. G., C. A. Flores V., L.A. Miranda R. y M. Cruz M. (2009). El nopal como forraje. Extensión al campo, publicación trimestral de la Universidad Autónoma Chapingo. Año II vol. 2 Nums. 10-12.
- Araújo, L. M., Medeiros, A. N. y Neto, A. P. (2005). Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 161-168.
- Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., Mendez, S., Bañuelos, V. R. y Meza-Herrera, C. A. (2008). Role and perspectives of goat production in a global world. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9, 1-14.
- Arellano-Rodriguez, G., C.A. Meza-Herrera, R. Rodríguez-Martinez, G. Velazquez-Mendez, M. Mellado H. Salinas, M.A. Perez-Razo, and F. Sánchez. (2007). Short-term betacarotene supplementation positively affects ovarian follicular development and ovulation rate in goats. *Journal of Applied Animal Research*. 32:177-180.
- 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.
- Barb, C. R., Campbell, R. M., Armstrong, J. D. y Cox, N. M. (1996). Aspartate and glutamate modulation of growth hormone secretion in the pig: Possible site of action. *Domestic Anim. Endocrinol*. 13(1): 81–90.

- Batista, K. (2007). Perfil metabólico de cordeiros em pastejo submetidos a diferentes ambientes e suplementações alimentares no semi-arido paraibano. Patos, BF: Universidade Federal De Campina Grande Centro de Saúde e Tecnologia Rural.
- Bedos, M., Velázquez, H., Fitz, G., Flores, J. A., Hernández, H., Duarte, G.,... Delgadillo, J. A. (2012). Sexually active bucks are able to stimulate three successive groups of females per day with a 4-hour period of contact. *Physiology & Behavior*, 106(2), 259-263.
- Bedoya, O., Arenas, F., Rosero, R. y Posada, S. (2012). Efecto de la suplementación de ensilajes sobre perfiles metabólicos en cabras lactantes. *J Agric Anim Sci.*, 1(1), 26-37.
- Ben-Salem, H. y Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77, 174-194.
- Ben-Salem, H. y Abidi, S. (2009). Recent advances on the potential use of *Opuntia* spp. in livestock feeding. *Acta Horticulturae*, 811, 317-324.
- Bindon, B. M. y Piper, L. R. (1984). Endocrine basis of genetic differences in ovine prolificacy. *10th International Congress on Anim. Repr. and AI. University of Illinois, USA VI Symposium Genetics and Fertility*. Simposio llevado a cabo en Illinois, USA.
- Blache, D. y Martin, G. B. (2009). Focus feeding to improve reproductive performance in male and female sheep and goats-How it works and strategies for using it. En: T. G. Papachristou, Z. M., Parissi, H., Ben y P., Morand. (Eds.), *Nutritional and foraging ecology of sheep and goats* (pp. 351-364). Zaragoza, Esoaña: Options Méditerranéennes, Série A (Séminaires Méditerranéens).
- Boukhliq R. y Martin G. B. (1996). Relationship between the nutritional stimulation of gonadotrophin secretion and peripheral cerebrospinal fluid (CSF) concentrations of glucose and insulin in rams. *Animal Reproduction Science*.41, 201-204.
- Boyd, J. W. (1984). The interpretation of serum biochemistry test results in domestic animals. *Veterinary Clinical pathology*. Vet. Practice Publishing Co. XIII (2).

- Brito, M., González, F., Ribeiro, L., Campo, R., Lacerda, L., Barbosa, P. y Bergmann, G. (2006). Composição do sangue e do leite em ovinos leiteiros do sul do Brasil: variações na gestação e na lactação. *Ciênc. Rural.*, 36(3), 942-8.
- Bücher-Bernales, D. D. (1998). *Caracterización del balance metabólico energético y proteico en el periodo de ordeño de ovejas Latxa. Cara Rubia a pastoreo* (tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile
- Butera, D., Tesoriere, L., di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M.,... Livrea, M. A. (2002). Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: Betanin and indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 6895-6901.
- 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.
- Carrillo, E., C.A. Meza-Herrera, A. Olan-sanchez, P.A. Robles-Trillo, C. Leyva, J.R. Luna - Orozco, R. Rodriguez-Martinez, F.G. Veliz-Deras. (2014). The "female effect" positively affects the appetitive and consummatory sexual behaviour and testosterone concentrations of Alpine male goats under subtropical conditions. *Czech Journal of Animal Science*. 59(7):337-343.
- Ceballos, A., Villa, N., Bohórquez, A., Quiceno, J., Jaramillo, M. y Giraldo, G. (2002). Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Rev. Col. Cienc. Pec.*, 15(1), 26-35.



- Cabrera-Baeza, H. F., Aguilera-Barreyro, A., Reis-de Sousa, T., Bernal-Santos, M. G. y Escobar-García, K. (2015). Producción de proteína microbiana utilizando nopal como sustrato en fermentadores en estado sólido para la alimentación animal. *XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia*. Congreso llevado a cabo en León, Guanajuato, México.
- Cedeño, D., Ceballos, A., Garzón, C. y Daza, C. (2011). Estudio comparativo de perfiles metabólicos minerales en lecherías de dos regiones de Nariño. *Orinoquia*. 15(2), 160-8.
- Cognie, Y., Houix, Y. y Logcay, B. (1971). Donnees sur la croissance et la reproduction de la chevre en Guadeloupe. *II Conference Internationale de L'Eleavage Caprin*. Conferencia llevada a cabo en: Tours, France: 345.
- Colin, O., Jurjanz, S. y Laurent, F. (1998). Nitrogen supply and fermentecible nitrogen deficit in total mixed ratio for dairy cows: influence on milk yield and composition, *Rencontre Recherche Ruminants*, 5, 222.
- Contreras, P., Wittwer, F. y Bohwald, H. (2000). Uso dos perfis metabólicos no monitoramento nutricional dos ovinos. En: F., González, J., Barcellos, H., Patiño y L., Ribeiro. (Eds), *Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais* (pp. 75-84). Porto Alegre, Brasil: Biblioteca Setorial da Facultad de Medicina Veterinaria da UFRGS.
- Contreras-Villarreal, V., C.A. Meza-Herrera, R. Rivas-Muñoz, O. Angel-Garcia, J.R. Luna-Orozco, E. Carrillo, M. Mellado, F.G. Veliz. (2016). Reproductive performance of seasonally anovular mixed-bred dairy goats induced to ovulate with a combination of progesterone and eCG or estradiol. *Animal Science Journal*. 87:750-755.
- Corteel, J. (1973). L'insemination artificielle caprine: Bases physiologiques, état actuel et perspectives d'avenir. *World Rev. Anim. Prod.*, 9, 73-79.

- Cox, N. M., Stuart, M. J., Althen, T. G., Bennet, W. A. & Miller, H. W. (1987). Enhancement of ovulation rate in gilts by increasing dietary energy and administering insulin during follicular growth. *J. Anim. Sci.* 64: 507-516.
- Cueto, M. I., Gibbons, A. E. y Abad, M. (2000). Reproducción en caprinos. EEA Bariloche: Centro regional Patagonia Norte. Recuperado de: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_caprina/inseminacion\\_transferencia\\_caprino/56-reproduccion.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_caprina/inseminacion_transferencia_caprino/56-reproduccion.pdf)
- Chedrese, J. (2003). Regulación autocrina y paracrina del desarrollo folicular I: efecto de los esteroides. *Rev Col Cienc Pec.*, 16(2), 171-182
- Chemineau, P., Gauthier, D., Poirier, J. C. y Saumande, J. (1982). Plasma levels of LH, FSH, Prolactin, Oestradiol 17 $\beta$  and progesterone during natural and induced oestrus in the dairy goats. *Theriogenology*, 17(3), 313-323.
- Chemineau, P. (1983). Effect on oestrus and ovulation of exposing Creole goats to the male at three times of the year. *J. Reprod. Fertil.*, 67, 65-72.
- Chemineau, P. (1984). "Buck effect" in tropical goats. En: M., Courot. (Ed.) *The male in the farm animal reproduction* (310-315). Boston, EUA: Martinus Nijhoff Publishers.
- Chemineau P., Daveau A., Maurice F. y Delgadillo J. A. (1992). Seasonality of estrus and ovulation is not modified by subjecting female Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Ruminant Research*, 8, 299-312.
- Chemineau P., Baril, G. y Delgadillo J. A. (1993). Control hormonal de la reproducción en el caprino. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 3(3), 197-210.
- Chemineau, P., Pellicer, M. T., Lassoued, N., Khaldi, G. y Monniaux, D. (2006). Male-induced short oestrous and ovarian cycles in sheep and goats a working hypothesis. *Reproduction Nutrition and Development*, 46, 417-429.

- Child, R. D., Byington, E. K. y Hansan, H. (1985). Goats in the mixed hardwoods of the southeastern United States. En: F. H., Baker y R. K., Baker. (Eds.), *Multispecies Grazing* (pp. 149-158). Morrilton, EUA: Winrock International.
- Davidson T. R., Chamberlain C. S., Bridges T. S. y Spicer L. J. (2002). Effect of follicle size on in vitro production of steroids and insulin-like growth factor IGF-I, IGF-II and the IGF-binding proteins by equine ovarian granulosa cells. *Biol. Reprod.* 66 (6): 1640-1648.
- Delgadillo, J. A., Leboeuf, B. y Chemineau, P. (1991). Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*, 36(5), 755-770.
- Delgadillo, J. A., Canedo, G. A., Chemineau, P., Guillaume, D. y Malpaux, B. (1999). Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52(4), 727-737.
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Véliz, F. G., Hernández, H. F., Duarte, G., Vielma, J.,... Malpaux, B. (2002). Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2780-2786.
- Delgadillo J. A. (2010). Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*, 5(1):74-81. doi: 10.1017/S1751731110001400.
- De la Rosa, J. P. y Santana, A. (2000). EL NOPAL: Usos manejo agronómico y costos de producción en México. CONAZA-UACH-CIESTAAM. 182 p.
- De Santiago-Miramontes, M. A., Rivas, R., Muñoz, M., Malpaux, B., Scaramuzzi, R. J. y Delgadillo, J. A. (2008). The ovulation rate in anoestrous female goats managed under

- grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science*, 105, 409-416.
- De Santiago-Miramontes, M. A., Malpaux, B. y Delgadillo J. A. (2009). Body condition is associated with a shorter breeding season and reduced ovulation rate in subtropical goats. *Animal Reproduction Science*, 114, 175-182.
- 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.
- Downey, B. R. (1980). Regulation of the estrous cycle in domestic animals. A review. *Can. Vet. J.*, 21, 301.
- Echavarría-Cáirez, F., Gutiérrez, R., Ledesma, R., Banuelos, R., Aguilera, J. y Serna, P. (2006). Influence of small ruminant grazing systems in a semiarid range in the State of Zacatecas Mexico: I native vegetation. *Técnica Pecuaria en México*, 44, 203-217.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Saïd, M.,... Cherkaoui, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19, 14879-14901. doi:10.3390/molecules190914879
- Elias, A. y Lezcano, O. (1993). Efecto de la fuente de N y algunos factores de crecimiento en la población de levaduras que se establece en la Producción de Saccharina. *Rev. Cubana de Cienc. Agric.* 27, 227.
- Elias, A. (2007). Estrategia para la producción de alimentos para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos que protejan el medio ambiente. *II Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*. Congreso llevado a cabo en La Habana, Cuba.

- Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J. y Meza-Herrera, C. (2013). Dairy goat production system. *Tropical Animal Health Production*. 45(1): 17-34.
- Fedele, V., Pizzillo, M., Claps, S., Morand-Fehr, P. y Rubino, R. (1993). Grazing behavior and diet selection of goats on native pasture in Southern Italy. *Small Rumin. Res.* 11, 305-322.
- Fierro, L. C., Gomez, F. y Gonzales, M. H. (1982). Biological control of undesirable brush species using goats in central Chihuahua, Mexico. *III International Conf. on Goat Production and Disease*. Tucson, USA.
- Flores, C. A. y Aguirre, J. R. (1979). *El nopal como forraje*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., Ortega-Sánchez, J. L., García-Herrera, G., Meza-Herrera, C. A. y Esquivel-Arriaga, O. (2017). Enriquecimiento proteico de nopal como forraje. [Folleto]. México: Olivar, J. A.
- 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.
- Galina, M. A. y Pineda, L. J. (2010) *Zootecnia de Ovinos y Caprinos*. México: Agrosystems Editing.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gibbons, A., Cueto, M. y Willems, P. (1992). Inseminación artificial con semen congelado en cabras de raza Angora, sobre los celos concentrados post incorporación del efecto macho. *Rev. Med. Vet.*, 73, 122-128.

- Gibbons, A., Willems, P., González, R., Cueto, M. y García, J. (1994). Actividad sexual de la cabra de raza Angora por efecto macho temporario o permanente. *Rev. Arg. Prod. Anim.*, 14, 209-214.
- Gill, J. L. y Hafs, H. D. (1971). Analysis of repeated measurements of animals. *J. Anim. Sci.*, 33, 331-336.
- Goodman, R. L. (1988). Neuroendocrine control of the ovine estrous cycle, En: E., Knobil y J., Neill. (Eds.), *The Physiology of Reproduction*, (pp. 1929-1969). USA: Raven Press, Ltd.
- González-Álvarez, V.H., C.A. Meza-Herrera, C. Leyva, A.S. Alvarado-Espino, J.M. Guillen-Muñoz, R. Rodriguez-Martinez, F.G. Veliz-Deras. (2016). Effectiveness of different hCG and GnRH based protocols in progesterone primed goats on estrus induction and reproductive outcomes in out-of-season goats. *Journal of Animal Research*. 6(2):177-182.
- González-Bulnes, A., Santiago-Moreno, J., García-López, M., Gómez-Brunet, A. y López-Sebastián, A. (1994). Observación del ovario en la oveja y eficacia en la detección de folículos y cuerpos lúteos mediante ecografía transrectal. *Invest. Agrar. Prod. Sanid. Anim.* 9, 319-329
- González-Bulnes, A., Meza-Herrera, C. A., Rezik, M., Ben-Salem, H. y Kridli, R. T. (2011). Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. En: K. M., Degenovine. (Ed.), *Semi-arid environments: ariculture, water supply and vegetation* (pp. 41-60). Nueva York, EUA: Nova Science Publishers Inc.
- González, C., Pelletier, J., Cognie, Y., Locatelli, A., Baril, G. y Corteel, J. (1984). Descarga preovulatoria de LH y momento de la ovulación en cabras lecheras durante el celo

- natural o inducido por vía hormonal. *Xth Intern. Cong. Anim. Reprod. & Artif. Insem.* Simposio llevado a cabo en Illinois, EUA.
- González-Stagnaro, C., Pelleiter, J., Cognié, Y., Locatelli, A., Baril, G. y Corteel, J. M. (1984). Descarga preovulatoria de LH y momento de ovulación en cabras lecheras durante el celo natural o inducido vía hormonal. *10th Cong. On Anim. Reprod. and Artificial Insemination.* Congreso llevado a cabo en Illinois, USA.
- González, M. K. (2006). Utilización de nopal como sustituto parcial de alfalfa en dieta para vacas lecheras. INIFAP-PRODUCE. *Tec. Pec. En México*, 36. No. 1. México.
- González, D. C. (2012). Animales mexicanos de las zonas áridas. México: CONAFOR.
- Greylling, J. P. C. y Van Niekerk, C. H. (1991). Different synchronization techniques in Boer goats doe outside the normal breeding season. *Small Rumin. Res.*, 5, 233-243.
- Guerra-García, M., Meza-Herrera, C. A., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Gallegos-Sánchez, J., Torres-Hernández, G. y Pro-Martínez, A. (2009). IGF-1 and ovarian activity of goats in divergent body condition and supplemented with non-degradable ruminal protein. *Agrociencia*, 43, 241-247.
- Guerrero-Cruz, M. M. (2010). La Caprinocultura en México, una Estrategia de Desarrollo. *RUDICS. Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales*, 1, 1-8.
- Hibbit, K. G. (1988). Effect of protein on the health of dairy cows. En: W., Haresign, W. y L. A., Cole. (Eds.), *Recent developments in ruminant nutrition-2* (pp. 184-195).
- Hfaiedh, M., Brahmi, D. y Zourgui, L. (2014). Protective role of cactus cladodes extract on sodium dichromate-induced testicular injury and oxidative stress in rats. *Biol Trace Elem Res.*, 159(1-3), 304-11. doi: 10.1007/s12011-014-9969-8
- Ibrahim S. A. (1997). Seasonal variations in semen quality of local and crossbred rams raised in the United Arab Emirates. *Anim Reprod Sci*, 49, 161-167.

- Johnson, L., Fabre N. C., Chanvallon, A. François, D., Fassier, T., Menassol, J.,... Scaramuzzi, R. J. (2011). Condition on the Pituitary and Ovarian Responses of Anoestrous Ewes to the “Ram Effect”. *J Veterinar Sci Technol* S2:001. doi:10.4172/2157-7579.S2-001
- Junta de Andalucía. (2010). *Red de Áreas Pasto-Cortafuegos de Andalucía (RAPCA): el pastoreo controlado como herramienta de prevención de incendios forestales*. Recuperado de: [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/montes/prevencion\\_ext\\_inc/3\\_recursos\\_de%20sensibilizacion\\_y\\_comunicacion/8\\_articulos\\_en\\_revistas\\_especializadas/3\\_red\\_de\\_areas\\_pastocortafuegos\\_de\\_andalucia\\_rapca\\_incendios\\_forestales\\_n22.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/montes/prevencion_ext_inc/3_recursos_de%20sensibilizacion_y_comunicacion/8_articulos_en_revistas_especializadas/3_red_de_areas_pastocortafuegos_de_andalucia_rapca_incendios_forestales_n22.pdf)
- Karsh, F. J. (1984). The hipothalamus and anterior pituitary gland, En: C. R., Austin y R. V., Short. (Eds.), *Reproduction in Mammals* (PP. 1-20). England: Cambridge University Press.
- Ketelslegers, J. M., Maiter, D., Maes, M., Underwood, L. E. y Thissen, J. P. (1995). Nutritional regulation of insulin like growth factor-I. *Metabolism, Clin. Exp.* 44(10-4), 50-57.
- Kuti, J. O. (2004). Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chem.*, 85, 527-533.
- Lajous, A., Gaillard, A., Ricordeau, G., Bouillon, J., INRA (1984). Modalites et caracteristiques de reproduction chez les caprins aspects genetiques. *Bulletin Technique d'Information - Ministère de l'Agriculture*, 391, 367-383.
- Leboeuf, B., Delgadillo, J. A., Manfredi, E., Piacère, A., Clément, V., Martin, P.,... De Cremoux, R. (2008). Management of goat reproduction and insemination for genetic improvement in France. *Reproduction Domestic Animal*, 43, 379-85.
- Lindsay, D. R., Martin, G. B. y Williams, I. H. (1993). Nutrition and reproduction. En: G. J., King. (Ed.), *Reproduction in domesticated animals* (pp. 459-491). Amsterdam, Netherland: Elsevier BV.



- Litell, C. R., Freund, J. R. y Phillip, C. (1991). SAS® System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 329 pp
- López, M. (1980). Activité oestrienne et progesteronemie chez la chevrette Alpine pendant la saison sexuelle qui suit sa naissance: Effect a la introduction du male dans le troupeau. Dipleme de Ettudes approfondies Université Pierre et Marie Curie. Paris VI.
- López, J. J., Fuentes, J. M. y Rodríguez, R. (2001). Production and use of Opuntia as forage in northern Mexico. En C., Mondragón y S., Pérez. (Eds). *Cactus (Opuntia spp.) as forage* (pp. 29-36). Coahuila, México: FAO Plant Production and Protection Paper.
- 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.
- Lu, C. D. (1988). Grazing behavior and diet selection of goats. *Small Ruminant Research*, 1, 205-216.
- Luginbuhl, J. M., y Pietrosevoli, S. (2007). Utilización de caprinos para el control de vegetación indeseable –Use of goats to control undesirable vegetation. *XX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA) - Latin American Association of Animal Production*. Congreso llevado a cabo en Cusco, Perú.
- Luna-Orozco, J. R., Guillen-Muñoz, J. M., De Santiago-Miramontes, M. A., García, J. E., Rodríguez-Martínez, R., Meza-Herrera, C. A.,... Véliz, F. G. (2012). Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 71-75.
- Martin, G. B., Walkden-Brown, S. W., Boukhliq, R., Tjondronegoro, S., Miller, D. W., Fisher, J. S., Hötzel, M. J., Restall, B. J y Adams, N. R. (1994). Non-photoperiodic inputs into

- seasonal breeding in male ruminants. En: K. G., Davey, R. E., Peter y S. S., Tobe. (Eds.), *Perspectives in Comparative Endocrinology* (pp. 574-585) Ottawa, Canada: National Research Council of Canada.
- Martin, G. B., Rodger, J. y Blache, D. (2004). Nutritional and environmental effects on reproduction in small ruminants. *Reproduction Fertility Development*, 16, 491-501.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F., Morgan, C. A. (2002). *Nutrición animal*. Zaragoza, España: Acribia.
- Mellado, B. M. (1985). *Producción de caprinos en pastoreo*. México: trillas.
- Mellado, B. M. y Valdés O. F. (1998). Guía para el manejo productivo en las explotaciones caprinas del norte de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Subdirección de Desarrollo.
- 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.
- Merlos, M., Martínez, R. D., Torres, G., Mastache, A. A. y Gallegos, J. (2008). Evaluación de características productivas en cabritos Boer x Local, Nubia x Local y locales en el trópico seco de Guerrero, México. *Veterinaria México*, 39(3), 323-333.
- Meza-Herrera, C.A. (2008). Regulatory 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., Sanchez, J. M., Chavez-Perches, J. G., Salinas, H. y Mellado, M. (2004). Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. *South African Journal of Animal Science*. 34 (1), 223-226.

- Meza-Herrera, C. A., Ross, T., Hallford, D. M., Hawkins, D. y González-Bulnes, A. (2007a). Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction Domestic Animals*. 42, 461-465.
- Meza-Herrera, C. A., Cuevas-Jácquez, R. A., Chávez-Perches, J. G., Salinas-González, H. y Urrutia-Morales, J. (2007b). Efecto de la suplementación de proteína de sobrepaso sobre la actividad ovarica en cabras en condición corporal divergente. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6, 127-134
- Meza-Herrera, C. A., Hallford, D. M., Ortiz, J. A., Cuevas, R. A., Sánchez, J. M., Salinas, H., Mellado, M. y González-Bulnes, A. (2008). Body condition and protein supplementation positively affect periovulatory ovarian activity by non-LH mediated pathways in goats. *Animal Reproduction Science*. 106, 412-420.
- Meza-Herrera, C.A., González-Bulnes, A., Kridli, R.T., Mellado, M., Arechiga-Flores, C.F., Salinas, H., y Luginbuhl, J.M. (2010a). Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. *Reproduction in Domestic Animals*. 45(6).
- Meza-Herrera, C.A., Veliz-Deras, F.G., Wurzinger, M., Lopez-Ariza, B., Arellano-Rodriguez, G., y Rodriguez-Martinez, R. (2010b). 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. (2011a). 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. (2011b). Glutamate supply positively affects serum release of triiodothyronine and

- insulin across time without increases of glucose during the onset of puberty in the female goat. *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: *Animal Reproduction in Livestock*. S. Astiz y A. Gonzalez (Ed.), *Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford, UK: Eolss Publishers.
- 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. (2013a). Betacarotene supplementation increases ovulation rate without an increment in LH secretion in cyclic goats. *Reproductive Biology*. 13(3):51-57.
- Meza-Herrera, C.A., F. Vargas-Beltrán, M. Tena-Sempere, A. Gonzalez-Bulnes, U. Macias-Cruz, F.G. Veliz-Deras. (2013b). 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., Reyes-Ávila, J.M., Tena-Sempere, M., Veliz-Deras, F.G., Macias-Cruz, U., Rodriguez-Martinez, R., y Arellano-Rodriguez, G. (2014a). 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., Calderon-Leyva, G., Soto-Sanchez, M.J., Serradilla, J.M., Garcia-Martinez, A., Mellado, M., y Veliz-Deras, F.G. (2014b). 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., 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. (2014c). 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., Serradilla, J.M., Muñoz-Mejias, M. E., Baena-Manzano, F. y Menendez-Buxadera, A. (2014d). 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., Cano-Villegas, C., Flores-Hernandez, A., Veliz-Deras, F. G., Calderon-Leyva, G., Guillen-Muñoz, G. M.,... Avendaño-Reyes, L. (2017). Reproductive outcomes of anestrus goats supplemented with spineless *Opuntia megacantha* Salm-Dyck protein-enriched cladodes and exposed to the male effect. *Trop Anim Health Prod.*, 49(7), 1511-1516. doi: 10.1007/s11250-017-1356-y
- Nefzaoui, A. y Ben-Salem, H. (2002). Forage, fodder, and animal nutrition. En: P. S., Nobel. (Ed.), *Cacti: Biology and Uses* (pp. 199-210). University of California Press, Berkeley and Los Angeles
- NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Oblitas, F. (2008). Uso de los perfiles metabólicos en el diagnóstico y prevención de trastornos metabólicos y nutricionales en vacas lecheras de la Campiña de Cajamarca, Sirivs. Revisión Bibliográfica. SIRIVS. Seminario Avanzado de Investigación.
- Oliveira, M. A. (2001). Production of fungal protein by solid substrate fermentation of cactus *Cereus peruvianus* and *Opuntia ficus indica*. *Quimica Nova*, 24, 307-310.

- Oldham, C. y Lindsay, D. (1980). Laparoscopy in the ewe: A photographic record of the ovarian activity of ewes experiencing normal or anormal oestrous cycles. *Animal Reproduction Science*, 3, 110-124.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2003). El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). FAOSTAT. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Portal lácteo*. Recuperado de: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/productiondairy-animals-small-ruminants/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). FAOSTAT. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>
- Pelleiter, J., González-Stagnaro, C., Baril, G. y Corteel, J. M. (1982). La décharge préovulatoire de LH induite chez la chèvre en période d'anoestrus saisonnier. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 294, Série III*, 867-870.
- Rekik, M., Ben. R. -Salem, H., Lassoued, N., Chalouati, H. y Ben-Salem, I. (2010). Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes during late gestation-early suckling: Effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity. *Small Ruminant Research*, 90, 53-57.
- Rekik, M., Gonzalez-Bulnes, A., Lassoued, N., Ben-Salem, H., Tounsi, A. y Ben-Salem, I. (2012). The cactus effect: an alternative to the lupin effect for increasing ovulation rate in sheep reared in semi-arid regions? *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(2), 242-249. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01145.x

- Ritar, A. J., Maxwell, W. M. C. y Salamon, S. (1984). Ovulation and LH secretion in the goat after intravaginal progestagen sponge-PMSG treatment. *J. Reprod. Fert.*, 72, 559-563.
- Rivas-Muñoz, R., Carrillo, E., Rodríguez-Martínez, R., Leyva, C., Mellado, M. y Véliz, F. G. (2010). Effect of body condition score of does and use of bucks subjected to added artificial light on estrus response of Alpine goats. *Tropical Animal Health Production*, 42, 1285-1289.
- Rojas, R. O. (1990). Factores que afectan la prolificidad en ovinos de pelo. *Segunda reunión sobre producción animal tropical*. Universidad Autónoma de Yucatan. Congreso llevado a cabo en Yucatán, México.
- 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.
- Rodriguez-Martinez, R., O. Angel-Garcia, J.M. Guillen-Muñoz, P.A. Robles-Trillo, M.A. De Santiago-Miramontes, C.A. Meza-Herrera, M. Mellado, F.G. Veliz. (2013). Estrus induction in anestrous mixed-breed goats using the female-to-female effect. *Tropical Animal Health and Production*. 45:911-915. DOI: 10.1007/s11250-012-0305-z.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p.253-165.
- Sakly, C., Rekik, M., Ben-Salem, I., Lassoued, N., Gonzalez-Bulnes, A. y Ben-Salem, H. (2014). Reproductive response of fat-tailed Barbarine ewes subjected to short-term nutritional treatments including spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) cladodes. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 43-49. doi: 10.1111/jpn.12028

- Sánchez-Ortega, J. A. (2009). *Producción, calidad de leche y metabolitos sanguíneos de cabras de raza alpina alimentadas con nopal (Opuntia ficus-indica)* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí.
- Sáenz-Escárcega, P., Hoyos, F. G., Salinas, G. H., Espinoza, A. J., Guerrero, B. A. y Contreras, G. E. (1991). Establecimiento de módulos caprinos con productores cooperantes. En: S., Flores. (Ed.), *Evaluación de Módulos Caprinos en la Comarca Lagunera* (pp. 24-34). Matamoros, Coahuila, México.
- Shelton, M. (1978). Reproduction and breeding of goats. *Journal of Dairy Science*, 61, 994-1010.
- SIAP 2017 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera>. Consultado 28 Marzo 2018.
- Scaramuzzi, R. J. y Campbell, B. K. (1990). Physiological regulation of ovulation rate in the ewe: a new look at an old problem. En: C., M., Oldhman, G., B., Martin y I., W., Purvis. (pp. 85-101), *Reproductive Physiology of Merino Sheep*. Australia.
- Scaramuzzi, R., Campbell, B., Downing, J., Kendall, N., 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, 339-354.
- Scaramuzzi, R. J., Oujagir, L., Menasso, J. B., Freret, S. Piezel A., Brown, H. M., Cognie, J. y Fabre, C. (2014). The pattern of LH secretion and the ovarian response to the ‘ram effect’ in the anoestrous ewe is influenced by body condition but not by short-term



nutritional supplementation. *Reproduction, Fertility and Development*. doi: 10.1071/RD13139

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

(2011). Sistema producto caprino plan rector nacional. Inca Rural.

SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2013). Anuario estadístico de la producción agropecuaria. México.

SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2014). Anuario estadístico de la producción agropecuaria. México.

Silanikove, N. (1997). Why goats raised on harsh environment perform better than other domesticated animals. *Options Méditerranéennes*, 34, 185-194.

Smith, J. F. y Stewart, P. D. (1990). *Effects of nutrition on the ovulation rate of ewes*. En: C. M., Oldhman, G. B., Martin y I. W., Purvis (Eds.), *Reproductive Physiology of Merino sheep* (pp. 85-101). Nedlands, Australia: School of Agriculture (Animal Science) The University of Western Australia.

Tamanini, C., Bono, G., Cairoli, F. y Chiesa, F. (1985). Endocrine responses induced in anestrus goats by the administration of different hormones after a fluorogestone acetate treatment. *Anim. Reprod. Sci.*, 9, 357-364.

Thimonier, J. y Mauleon, P. (1969). Variations saisonnières du comportement d'oestrus et des activités ovarienne et hypophysaire, chez les ovines. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys*, 9: 233.

Urrutia-Morales, J., Gutiérrez, B. J. R., Gámez, V. H., Ramírez, A. B. M. y Díaz G. M. O. (2000 a). Efecto de la condición corporal en la actividad ovárica de cabras criollas durante la estación de anestro. *XV Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Congreso llevado a cabo en Mérida, Yucatán.

- Urrutia-Morales, J., Huerta, H. A., Gámez, V. H., Díaz, M. O. y Ramírez, B. M. (2001 a). Efecto del nivel de suplementación en la actividad reproductiva y en la respuesta al efecto macho de cabras criollas. *2º Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura*. Congreso llevado a cabo en: Mérida Yucatán.
- Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera, C. A., Escobar-Medina, F. J., Gámez-Vázquez, H. G., Ramírez-Andrade, B. M., Díaz-Gómez, M. O. y González-Bulnes, A. (2009). Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reprod. Biol.*, *9*, 283-294.
- Valente, L., Scheinvar, L., da Silva, G., Antunes, A., dos Santos, F., Oliveira, T.,... Gibaldi, D. (2007). Evaluation of the antitumor and trypanocidal activities and alkaloid profile in species of Brazilian Cactaceae. *Pharmacogn. Mag.*, *3*, 167-172.
- Valente, M. M., da Paixão, D., do Nascimento, A. C., dos Santos, F.P., Scheinvar, L. A., Moura, R. L.,... da Silva, F. M. (2010). Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chem.*, *123*, 1127-1131.
- Van-Lier, E. y Regueiro, M. (2008). *Digestión en retículo-rumen*. Recuperado de: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/AFA/TEORICOS/Repartido-Digestion-en-Reticulo-Rumen.pdf>
- Véliz, F. G., Moreno, S., Duarte, G., Vielma, J., Chemineau, P., Malpux, B. y Delgadillo, J. A. (2002). Male effect in seasonally anovulatory lactating goats depends on the presence of sexually active bucks, but not estrous females. *Animal Reproduction Science*, *72*, 197-207.

- Véliz, F. G., Poindron, P., Malpoux, B. y Delgadillo, J. A. (2006). Positive correlation between the liveweight of anestrus goats and their response to the male effect with sexually active bucks. *Reproduction, Nutrition and Development*, 6, 1-6.
- Véliz, F. G., Meza-Herrera, C. A., De Santiago-Miramontes, M. A., Arellano-Rodríguez, G., Leyva, C., Rivas-Muñoz, R. y 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.
- Vihan, V. S. y Rai, P. (1984). Studies on biochemical and hematological changes in metabolic derangements of sheep and goat. *Indian J. Vet. Med.*, 4(1), 9-4.
- Wade, G. N. y Jones, J. E. (2004). Neuroendocrinology of nutritional infertility. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 287(6), R1277-96.
- Walkden, S. W, Restall, B. J. y Henniawati. (1993). The male effect in the australian cashmere goat. 3. Enhancement with buck nutrition and use of oestrus females. *Anim Reprod Sci.*, 32, 69-84.
- Walkden, S. W, Restall, B. J. y Henniawati. (1993 b). The male effect in the australian cashmere goat. 2. Role of olfactory cues from the male. *Anim Reprod Sci.* 32:55-67. doi: 10.1016/0378-4320(93)90056-W
- Zamiri, M. J. y Haidari, A. H. (2006). Reproductive characteristics of Rayini male goats of Kerman province in Iran. *Anim Reprod Sci*, 96(1-2), 176-185.
- Yang, N., Zhao, M., Zhu, B., Yang, B., Chen, C., Cui, C. y Jiang, Y. (2008). Anti-diabetic effects of polysaccharides from *Opuntia monacantha* cladode in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 9, 570-574.