

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



## Suplementación de glutamato y reactivación ovárica en cabras primiparas durante la época de anestro estacional: Efecto sobre los niveles séricos de triyodotironina

### TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el doble grado de:

**Maestro en Ciencias en Recursos Naturales  
y Medio Ambiente en Zonas Áridas**

**Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible:  
Ganadería Ecológica e Integrada**

Presenta:

**ALICIA PALETA OCHOA**

Director:

**DR. CÉSAR A. MEZA HERRERA**



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

Bermejillo, Durango, México, Enero, 2016.



**SUPLEMENTACIÓN DE GLUTAMATO Y REACTIVACIÓN OVÁRICA  
EN CABRAS PRIMALAS DURANTE LA ÉPOCA DE  
ANESTRO ESTACIONAL:  
EFECTO SOBRE LOS NIVELES SÉRICOS DE TRIYODOTIRONINA**

Tesis realizada por **Alicia Paleta Ochoa** bajo la dirección del Comité Asesor, aprobada y aceptada como requisito para obtener el grado de:

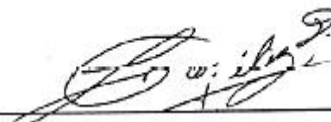
**Maestro en Ciencias en Recursos Naturales  
y Medio Ambiente en Zonas Áridas**

Director



Dr. César Alberto Meza Herrera  
Universidad Autónoma Chapingo, URUZA, México.

Co-Director



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Asesor



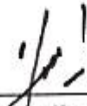
Dr. Juan M. Serradilla Manrique  
Universidad de Córdoba - IDEP, España.

Asesor



Dr. Antón R. García Martínez  
Universidad de Córdoba - IDEP, España.

Asesor



Dr. Homero Salinas González  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias. México

Enero, 2016.

**SUPLEMENTACIÓN DE GLUTAMATO Y REACTIVACIÓN OVÁRICA  
EN CABRAS PRIMALAS DURANTE LA ÉPOCA DE  
ANESTRO ESTACIONAL:  
EFECTO SOBRE LOS NIVELES SÉRICOS DE TRIYODOTIRONINA**

Tesis realizada por **Alicia Paleta Ochoa** bajo la dirección del Comité Asesor, aprobada y aceptada como requisito para obtener el doble grado de:

**Maestro en Ciencias en Recursos Naturales  
y Medio Ambiente en Zonas Áridas**

**Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible:  
Ganadería Ecológica e Integrada**

Director



Dr. César Alberto Meza Herrera  
Universidad Autónoma Chapingo, URUZA, México.

Co-Director



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Asesor



Dr. Juan M. Serradilla Manrique  
Universidad de Córdoba - IDEP, España.

Asesor



Dr. Antón R. García Martínez  
Universidad de Córdoba - IDEP, España.

Asesor



Dr. Homero Salinas González  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,  
Agrícolas y Pecuarias. México

Enero, 2016.

## TRABAJO FIN DE MÁSTER. ACTA DE EVALUACIÓN

Máster Universitario en: **ZOOTECNIA Y GESTIÓN SOSTENIBLE, GANADERIA ECOLÓGICA E INTEGRADA**

Alumno/a: **ALICIA PALETA OCHOA**  
DNI: G15352944

Título del Trabajo Fin de Máster: **SUPLEMENTACIÓN DE GLUTAMATO Y REACTIVACIÓN OVÁRICA EN CABRAS PRIMALAS DURANTE LA ÉPOCA DE ANESTRO ESTACIONAL: EFECTO SOBRE LOS NIVELES SÉRICOS DE TRIYODOTIRONINA.**

Directores: DR. CÉSAR A. MEZA HERRERA, DR. JOSÉ MANUEL SERRADILLA MANRIQUE Y DR. ANTÓN R. GARCÍA MARTÍNEZ

### TRIBUNAL EVALUADOR:

(de 3 a 5 miembros)

(si algún miembro del tribunal no es de la UCO, indicar procedencia)

Presidente/a: ELENA ANGÓN SÁNCHEZ DE PEDRO

Secretario/a: CECILIO JOSÉ BARBA CAPOTE

Vocal: JOSÉ MANUEL PEREA MUÑOZ

CALIFICACIÓN NUMÉRICA (0-10): 10

CALIFICACIÓN ALFABÉTICA: SOBRESALIENTE

Córdoba, 9 de DICIEMBRE de 2015



Presidente/a

Secretario/a

Vocal

Fdo.: Elena Angón Sánchez

Fdo.: Cecilio Barba Capote

Fdo.: José M. Perea Muñoz

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

*Al Programa de Becas Nacionales CONACYT 2014-2015, por el apoyo  
recibido para realizar mis estudios de Maestría y poder formar parte de los  
Becarios de CONACYT durante el mismo periodo de tiempo.*

*Al Programa de Becas Mixtas en el Extranjero, para Becarios CONACYT  
Nacionales 2014-2015 por todo el apoyo brindado para poder realizar una  
estancia de investigación en España y que me llevó a obtener el grado de  
Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería Ecológica e Integrada  
dentro de la Universidad de Córdoba en colaboración con el Instituto de  
Estudios de Posgrado de Córdoba.*

## **DEDICATORIAS**

Con todo mi cariño y amor para las personas que han hecho todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi razón de ser: Papá y Mamá.

A ustedes que han sido un motor para lograr mis propósitos, gracias por su ayuda y fortaleza: Hermanos y Hermana.

A Ruth mi niña hermosa, por alegrarme cada instante de mi vida, por ser mi fortaleza y mi inspiración. Hoy quiero compartir este logro más a tu lado.

También dedico este trabajo a ti Arnoldo por las palabras de aliento en los momentos que más lo he necesitado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primeramente a Dios y a la Virgen María por llenar mi vida de dicha y bendiciones, por darme la oportunidad de vivir y llegar a este momento en el cual me permitió cumplir con dos grandes objetivos en mi formación profesional, la Licenciatura y ahora la Maestría, pero sobre todo correspondo a todas aquellas personas, familiares y amigos que me motivaron y me apoyaron a terminar con éste trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, por darme esta segunda oportunidad para continuar preparándome en mis estudios y seguir aprendiendo cada día más tanto de mis profesores como de mis compañeros de clase.

Al Dr. César Alberto Meza Herrera, por aceptarme como su tesista y por confiar en mí desde el inicio. Agradezco su entrega profesional, aportaciones teóricas y experiencias. Por haberme dado la oportunidad de viajar no sólo para poder obtener un título sino también para tener otra perspectiva de la vida.

A todos los profesores tanto del programa de posgrado de la URUZA-UACH, México, como del Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería Ecológica e Integrada del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba, España, que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona instruida y preparada para los retos presentes de la vida profesional.

A mis amigos (as) por todos los momentos inolvidables que pasamos juntos tanto de tristeza como de felicidad que nunca podré olvidar, gracias por brindarme su amistad: Nora, Coquito, Aby, Denisse, Toño, Ricardo, Santos, Omag, Raúl y Cayetano.

A mis compañeros de grupo del Máster en Zootecnia, por haberme permitido conocerlos tanto como compañeros de clase como amigos, me llevo muy buenas experiencias de todos.

Agradezco especialmente, por su dedicación, disponibilidad, empatía, y llamadas de atención, además por hacer grata nuestra estancia en el posgrado: Margarita Ávila Ramírez.

A mi familia, gracias por impulsarme a seguir adelante, por ser el motor de mi vida, por darme el cariño que siempre me han dedicado sin pedirme nada a cambio.



## DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por la C. **Alicia Paleta Ochoa**, es Ingeniera en Sistemas Pecuarios por la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), egresada en el año 2013. Obtuvo el grado de Ingeniera con la tesis “*Seroprevalencia de Brucelosis en Hatos Caprinos de la Loma, Durango*” en diciembre de 2013, dirigida por el M.S.P José Luis Ortega Sánchez.

Después de egresar de esta universidad inició los estudios de maestría en el Programa de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Árida en URUZA-UACH, generación 2014-2015. Asimismo, durante el mismo periodo de enero a julio de 2015, desarrolló una estancia de investigación en la Universidad de Córdoba, España, realizando el Máster en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería Ecológica e Integrada, en el Departamento de Producción Animal, cumpliendo con los requisitos para obtener la doble titulación, realizando la defensa del Trabajo de Fin de Master en Diciembre 9, 2015.

En el mismo periodo de estancia en la UCO participo en tres publicaciones:

Efecto de la Suplementación Nutricional Previa al Parto sobre el Comportamiento Madre-Cría de cabras en Pastoreo. **XI Congreso Iberoamericano de Razas Criollas y Autóctonas**. Centro de Congresos de la Feria de Zaragoza– España del 19 al 21 de marzo de 2015, p. 272-274.

Efecto de la Suplementación Nutricional Previa al Parto sobre el Peso de los Cabritos y la Producción Láctea de Cabras en Pastoreo. **XI Congreso Iberoamericano de Razas Criollas y Autóctonas**. Centro de Congresos de la Feria de Zaragoza – España del 19 al 21 de marzo de 2015, p. 275-277.

Suplementación de Glutamato y Reactivación Ovárica en Cabras Primiparas Durante la Época de Anestro Estacional (25° LN): Efecto sobre los Niveles Séricos de Triyodotironina. **XI Congreso Iberoamericano de Razas Criollas y Autóctonas**. Centro de Congresos de la Feria de Zaragoza – España del 19 al 21 de marzo de 2015, p. 281-284.

Posteriormente, formó parte del Comité de Revisión en Tesis de Licenciatura, en la URUZA-UACH:

Efecto de la suplementación de nopal (*Opuntia megacantha Salm-Dyck*) enriquecido proteicamente sobre la reactivación ovárica en cabras anéstricas expuestas al efecto macho. Carlos Arnoldo Romero Rodríguez.

Asimismo, incursionó con la presentación de cartel en el X Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas en Octubre de 2014 y en el II Congreso Internacional y XI Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, realizados los días 29 y 30 de Octubre de 2015.

Recientemente la C. Alicia Paleta Ochoa participo como colaborador de siete artículos en el **III Congreso internacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento, Bolívar-Ecuador del 10 al 12 de noviembre de 2015:**

Cuantificación de la huella de carbono como marcador ambiental del grado de sustentabilidad del bovino de engorda en la Comarca Lagunera, México.

**Conservación de Recursos Naturales y Biodiversidad, p. 735.**

Suplementación de glutamato, circunferencia escrotal & niveles séricos de IGF-1 en machos caprinos bajo fotoperiodos crecientes. **Zootecnia y Veterinaria, p. 5.**

Relación entre la época de empadre y la expresión del peso al nacimiento en caprinos. **Zootecnia y Veterinaria, p. 15.**

Aminoácidos excitadores, fotoperiodos crecientes, y niveles séricos de testosterona en machos caprinos. **Zootecnia y Veterinaria, p. 27.**

Aminoácidos excitadores, condición corporal, circunferencia escrotal y concentraciones séricas de LH en machos caprinos bajo fotoperiodos crecientes. **Zootecnia y Veterinaria, p. 37.**

Estrés térmico, nutrición divergente y tercer tercio de gestación en ovejas: niveles séricos de colesterol y los pesos de la camada al nacimiento. **Zootecnia y Veterinaria, p. 51.**

Estrés térmico, nutrición divergente y tercer tercio de gestación en ovejas: niveles séricos de triglicéridos y los pesos de la camada al nacimiento. **Producciones Ganaderas Alternativas, p. 199.**

Suplementación focalizada de glutamato, desarrollo de folículos antrales y patrón de secreción de LH en cabras adultas. **Zootecnia y Veterinaria, p. 63.**

Su línea de investigación actual se relaciona directamente con el Manejo de recursos naturales y desarrollo Sustentable en zonas Áridas con el proyecto: *“Suplementación de glutamato y reactivación ovárica en cabras primaras durante la época de anestro estacional: Efecto sobre los niveles séricos de triyodotironina”*, bajo la supervisión directa de su tutor y director Dr. César Alberto Meza Herrera.

**SUPLEMENTACIÓN DE GLUTAMATO Y REACTIVACIÓN OVÁRICA EN CABRAS  
PRIMALAS DURANTE LA ÉPOCA DE ANESTRO:  
EFECTO SOBRE LOS NIVELES SÉRICOS DE TRIYODOTIRONINA**

**GLUTAMATE SUPPLEMENTATION AND THE OVARIAN REACTIVATION IN YEARLING  
GOATS DURING THE ANESTRUS SEASON:  
EFFECT UPON THE SERUM LEVELS OF TRIIODOTHYRONINE**

Alicia Paleta-Ochoa<sup>1</sup>, César Alberto Meza-Herrera<sup>2</sup>

**RESUMEN.** Se evaluó el efecto de la suplementación de glutamato sobre la reactivación de la función reproductiva durante la época de transición al anestro y su posible asociación con los niveles séricos de triyodotironina. El estudio se realizó en el norte de México (UACH-URUZA, 25° LN, 103° LO, a 1117 msnm, enero-marzo). Las cabras (n=20, 7/8 Saanen-Alpina), 10 meses edad, 26 kg peso vivo (PV) y condición corporal (CC) homogénea, fueron aleatoriamente distribuidas en dos tratamientos: 1) Aminoácidos Excitadores (AAE, n=10; 7 mg de glutamato kg<sup>-1</sup> PV, i.m.) y 2) Control (CONT, n=10, solución salina, i.m.). Se realizó un muestreo sanguíneo (2 x 7d x 32d) para cuantificar las concentraciones séricas de progesterona (P4) y triyodotironina (T3) mediante radioinmunoanálisis. Mientras que el PV, la CC y los promedios séricos de T3 no difirieron (P>0.05) entre tratamientos, el porcentaje de cabras mostrando reactivación de la función ovárica (55 vs. 12.5 %) y el perfil T3 a través del tiempo favorecieron (P<0.05) al grupo AAE con respecto al grupo control. Estos resultados demuestran que las cabras son capaces de traducir la suplementación de glutamato en señales endocrinas y metabólicas que inciden positivamente sobre la reactivación ovárica, destacando el rol de T3 como posible modulador metabólico durante la época de transición del estro al anestro.

**Palabras clave:** Cabras primalas, anestro estacional, suplementación, glutamato, función ovárica, triyodotironina.

<sup>1</sup> Tesista

<sup>2</sup> Director

**ABSTRACT.** The effect of glutamate supplementation upon reactivation of the reproductive function during the estrus-to-anestrus transition period and its possible association with serum triiodothyronine levels was evaluated. The study was conducted in northern Mexico (UACH-URUZA, 25° NL, 103° WL, 1,117 m.a.s.l., from January to March). Goats (n = 20, 7/8 Saanen-Alpine) 10 months old, with homogeneous body weight (BW) 26 kg and body condition (BC), were randomly distributed in two treatments: 1) Excitatory Amino Acid (EAA, n=10; 7 mg kg<sup>-1</sup> BW glutamate, i.m.) and 2) Control (CONT, n = 10, saline, i.m.). An intermittent blood sampling (2 x 7d x 32d) was performed to quantify serum concentrations of progesterone (P4) and triiodothyronine (T3) by radioimmunoassay. While neither BW, BC and the serum T3 averages did not differ (P>0.05) between treatments, the percentage of goats showing reactivation of the ovarian function (55 vs. 12.5%) and the T3 profile across time favored (P<0.05) to the EAA group regarding to control groups. Results demonstrate that yearling goats are able to translate the supplementation of glutamate into endocrine and metabolic cues that positively affected ovarian reactivation, highlighting the possible role of T3 as metabolic modulator during the transition estrus-to-anestrus season.

**Keywords:** Yearling goats, seasonal anestrus, supplementation, glutamate, ovarian function, triiodothyronine.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y GRÁFICAS .....	xv
CUADRO DE ABREVIATURAS .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1. Objetivos.....	4
2.2. Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Importancia del Ganado Caprino.....	5
3.2. Estacionalidad Reproductiva .....	6
3.3. Anestro Estacional.....	7
3.4. Influencia de la nutrición sobre el control de la reproducción .....	9
3.5. Neurotransmisores .....	12
3.6. Aminoácidos Excitatorios .....	14
3.7. Glutamato .....	15
3.7.1. Metabolismo del glutamato.....	15
3.7.2. Receptores del glutamato .....	17
3.8. Hormonas tiroideas .....	20
3.8.1. Hormonas tiroideas y estacionalidad reproductiva.....	22
3.8.2. Hormonas tiroideas y función reproductiva.....	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1. Localización del área experimental.....	27
4.2. Animales, su alimentación y duración del periodo experimental.....	27
4.3. Muestreo intermitente de sangre, colección y almacén de muestras ..	28
4.4. Diseño experimental y de tratamientos .....	29
4.6. Análisis estadísticos.....	30
4.7. Modelos estadísticos .....	30
V. RESULTADOS.....	34
VI. DISCUSIÓN.....	36
VII. CONCLUSIONES.....	42
VIII. LITERATURA CITADA.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y GRÁFICAS

<b>FIGURAS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	El ciclo glutamato-glutamina en la comunicación glía-neurona	16
2	Clasificación de los receptores del glutamato	18
<b>CUADROS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Contenido de Materia seca (MS, %), energía neta para mantenimiento (ENm, Mcal kg <sup>-1</sup> ) y proteína cruda (PC, %) de los ingredientes de la dieta ofrecida durante el periodo experimental.	28
2	Medias de mínimos cuadrados $\pm$ error estándar para peso vivo (PV, kg), condición corporal (CC, unidades), porcentaje de cabras primaras mostrando re-activación ovárica (RAO) y niveles séricos de T3 durante febrero-marzo bajo fotoperiodo natural en la Comarca Lagunera (n=20, 25° LN)	34
<b>GRÁFICAS</b>		
<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Perfil de secreción de T3 al través del tiempo en cabras primaras durante febrero-marzo bajo fotoperiodo natural en la Comarca Lagunera (n=20, 25° LN)	35

## CUADRO DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
<b>AAE</b>	Aminoácido excitador
<b>ADN</b>	Ácido desoxiribonucleico
<b>AMPA</b>	Acido DL- $\alpha$ -amino-3-hidroxi- 5metil-isoxazol propiónico
<b>AMPc</b>	Adenosín Monofosfato Cíclico
<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza
<b>BC</b>	Betacaroteno
<b>CC</b>	Condición corporal
<b>CONT</b>	Grupo control
<b>Ca<sup>+</sup></b>	Calcio
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>DIO2</b>	Deyododinasa tipo 2
<b>EE</b>	Error estándar
<b>EAAT1/2</b>	excitador amino-ácido transportador
<b>FSH</b>	Hormona folículo estimulante
<b>GABA</b>	Acido gamma aminobutírico
<b>GLU</b>	Glucosa
<b>GnRH</b>	Hormona liberadora de gonadotropinas
<b>iGluR</b>	Receptores a glutamato ionotrópico
<b>INS</b>	Insulina
<b>K<sup>+</sup></b>	Potasio
<b>KA</b>	Kianato
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>LH</b>	Hormona luteinizante
<b>LN</b>	Latitud norte
<b>LO</b>	Longitud oeste
<b>MBH</b>	Hipotálamo mediobasal
<b>Mg</b>	miligramo
<b>mGluRs</b>	Receptores a glutamato metabotrópicos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel medio del mar
<b>Na<sup>+</sup></b>	Sodio



<b>NHPM</b>	Núcleo hipotalámico posterior medial
<b>NMDA</b>	N-metil-D-aspartato
<b>NSO</b>	Nivel de significancia observado
<b>OVX</b>	Ovejas ovariectomizadas
<b>OVX+E2</b>	Ovejas ovariectomizadas e implantadas con estradiol
<b>P4</b>	Progesterona
<b>PV</b>	Peso vivo
<b>RIA</b>	Radioinmunoanálisis
<b>ROA</b>	Re-activación ovárica
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>SAS</b>	Statistical Analysis Software
<b>SNC</b>	Sistema nervioso central
<b>T3</b>	Triyodotironina
<b>T4</b>	Tiroxina
<b>TH</b>	Hormona tiroidea
<b>TSH</b>	Tirotropina
<b>UACH</b>	Universidad Autónoma Chapingo
<b>URUZA</b>	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator

## I. INTRODUCCIÓN

Los pequeños rumiantes, entre los que se encuentran los ovinos y caprinos, han representado un papel preponderante dentro de los sistemas de producción tradicionales en el mundo, sobre todo en zonas rurales donde predominan mayoritariamente los sistemas extensivos y semiextensivos (Celi, 2012). En estos sistemas, el ganado caprino se ha caracterizado por presentar mejor adaptabilidad al medio hostil, mayor resistencia al estrés por calor o sequía y una excelente utilización y digestibilidad de los pastos (Fatet *et al.*, 2011).

Sin embargo, estas ventajas de rusticidad y aprovechamiento de recursos tienen su contrapartida en una gran dependencia al medio y en los escasos rendimientos productivos que generan, provocando una baja eficiencia reproductiva, un retraso al inicio de la pubertad, largos periodos de anestro con poca fertilidad y prolificidad, particularmente bajo contextos marginales y de alta aridez (González-Bulnes *et al.*, 2011; Escareño *et al.*, 2013).

La mayoría de las cabras, son animales fuertemente estacionales independientemente de su latitud de origen, de hecho, muestran una estacionalidad similar a la de las ovejas de latitudes altas (Gomez-Brunet *et al.*, 2010). En el norte de México, los caprinos explotados de manera extensiva, se caracterizan por poseer una reproducción estacional bien establecida (Mellado y Hernández, 1996; Duarte, 2000; Delgadillo *et al.*, 2003).

En el caso de la Comarca Lagunera, el periodo de anestro en las hembras y de reposo sexual en los machos coincide con el periodo de sequía de la región y, en consecuencia, con una dramática disminución de la cantidad y la calidad del forraje disponible para los animales, por lo que se sugirió que la ausencia de la actividad sexual era provocada por la subalimentación (Saenz-Escarcega, 1991).

Sin embargo, la estacionalidad reproductiva también se ha observado en los animales mantenidos en estabulación y alimentados adecuadamente según sus necesidades fisiológicas (Delgadillo *et al.*, 2002). Por ello, esta estacionalidad reproductiva se convierte en una estacionalidad productiva, lo cual representa un problema de comercialización para los productores, que por lo general están inmersos en un mercado que exige producto durante todo el año, el cual incrementa su demanda durante la estación que corresponde a la menor producción de éstas especies (Álvarez y Ducoing, 2006).

La función reproductiva es un factor que se ve influido por el estado nutricional de los animales, en particular por el estado energético, ya que interviene de forma independiente o de forma interactiva, en la secreción de GnRH y LH (Estrada-Cortés *et al.*, 2009). La suplementación nutricional ha demostrado un efecto positivo sobre la respuesta reproductiva, promoviendo la activación de algunas vías metabólicas, así como algunas señales neuroendocrinas y/o genómicas (Urrutia-Morales, *et al.*, 2012).

Debido a que la producción animal está alineada a la función reproductiva, se han realizado esfuerzos importantes para cuantificar cómo la función reproductiva puede ser modulada por aspectos ambientales, principalmente los nutricionales y socio-sexuales (Gonzalez-Bulnes *et al.*, 2011). Existe información puntual que ha sido enfocada a tratar de comprender la modulación mediante manipulación nutricional suplementaria en la función del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal (Meza-Herrera *et al.*, 2010; Meza-Herrera y Tena-Sempere, 2011; Meza-Herrera *et al.*, 2014b), así como en la síntesis y liberación de ciertos metabolitos sanguíneos (Meza-Herrera *et al.*, 2014c), hormonas metabólicas (Meza-Herrera *et al.*, 2011a,b; 2013a; 2014d) y hormonas reproductivas (Arellano-Rodríguez *et al.*, 2009; Meza-Herrera *et al.*, 2013b).

En el mismo sentido, estudios previos señalan que el glutamato promueve una reactivación del estro en cabras anéstricas en la época de transición al anestro, pero se desconoce cómo es que esas cabras desarrollan su función ovárica. Así mismo se conoce que los aminoácidos excitadores regulan la secreción de hormonas tiroideas (tiroxina –T4 y triyodotironina –T3) y que existe una relación entre los niveles de T3 y el inicio de la pubertad en las cabras. Sin embargo, su papel en aspectos reproductivos no ha sido ampliamente estudiado. La finalidad del presente estudio es mejorar la economía del productor y asimismo la productividad de la cabra desde un punto de vista de bienestar del animal y del medio en el que se desarrolla caracterizado por regiones de escasos recursos.

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivos**

Evaluar el posible efecto de la suplementación de glutamato sobre la activación de la función reproductiva en la época de transición al anestro estacional en cabras anéstricas en ambiente de zonas áridas.

Evaluar el posible efecto de la suplementación de glutamato sobre los niveles séricos de T3 (triyodotironina), como un indicador metabólico del inicio de la actividad reproductiva.

### **2.2. Hipótesis**

La suplementación de glutamato promoverá la reactivación de la función reproductiva en cabras primaras en la época de transición al anestro estacional, y tal escenario estará positivamente relacionado con un aumento en los niveles séricos de triyodotironina (T3).

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Importancia del Ganado Caprino

Por su antigüedad y distribución el ganado caprino fue uno de los primeros animales en ser domesticados por el hombre. Como resultado de esta domesticación la humanidad ha obtenido de la cabra productos básicos para la alimentación e industria como son: leche, carne, pelo, piel (FIRA, 1999) y estiércol, teniendo, actualmente, una relevancia productiva muy discreta a escala mundial, comunitaria y nacional, comparado con la de otras especies ganaderas de rumiantes. El reducido formato corporal de la cabra, su agilidad y habilidad para el pastoreo y su reconocida rusticidad determina que la especie caprina, explotada bajo modelos extensivos y semiextensivos de producción, sea más idónea que la ovina y la bovina para el aprovechamiento de zonas áridas y semiáridas (Daza, 2004).

En México existen 494,000 unidades de producción caprina y aproximadamente 1.5 millones de mexicanos tienen como actividad productiva primaria o complementaria la caprinocultura. El 64% de las cabras se concentra en los sistemas de producción característicos de las zonas áridas y semiáridas y el 36% restante en la región templada del país (Cantú *et al.*, 1989). A nivel mundial, con 8`664,613.00 cabezas, la población caprina en México ocupa el primer lugar en inventario entre los países latinoamericanos seguido de Brasil, que por varios años fue el líder en ese rubro (FAO, 2013). 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 (Guerrero, 2010).

### **3.2. Estacionalidad Reproductiva**

La estacionalidad reproductiva es una estrategia adaptiva mediante la cual los animales silvestres y algunos domésticos reducen los efectos de los cambios anuales de temperatura y disponibilidad de alimento (Karsch *et al.*, 1984). El motivo de esta estacionalidad es que la actividad reproductiva tenga lugar durante un periodo concreto para que los partos se produzcan en el momento más adecuado del año y que las crías nazcan y se desarrollen cuando las condiciones medioambientales sean las más favorables. De esta manera, las especies estacionales adaptan su periodo de actividad reproductiva en función de la duración de su gestación para que la época de los partos sea siempre en primavera (Hafez, 1952).

Esta estacionalidad se mantiene en la mayoría de las razas ovinas y caprinas originarias de latitudes medias y altas ( $> 35^\circ$ ; Malpaux *et al.*, 1996), en las que el periodo de actividad reproductiva se corresponde con el otoño-invierno (días cortos o decrecientes) y el periodo de inactividad reproductiva con la primavera y el verano (días largos o crecientes). Este hecho conlleva que en nuestras latitudes la cabra presente un periodo de actividad reproductiva entre el mes de agosto y enero (Gómez-Brunet *et al.*, 2003; Zarazaga *et al.*, 2005), y que incluso los machos tengan una importante reducción de su libido durante la

primavera, independientemente del nivel de alimentación (Walkden-Brown *et al.*, 1994a, b; Delgadillo *et al.*, 2004a; Zarazaga *et al.*, 2009a).

Este ciclo anual de reproducción en los pequeños rumiantes está ligado al control de la actividad neuroendocrina gonadotropa por uno o varios factores medioambientales, siendo el más repetible, de año en año, la duración del número de horas de luz diarias o fotoperiodo. Es por tanto lógico que sea el principal factor externo que determina el comienzo o la finalización de la época de actividad reproductiva (Santa María *et al.*, 1990). Como consecuencia, esta estacionalidad reproductiva, produce importantes variaciones a lo largo del año en la disponibilidad de sus productos, principalmente carne y leche, con épocas de exceso o de escasez de oferta, lo que provoca, al mismo tiempo, importantes variaciones en su precio (Celi, 2012).

### **3.3. Anestro Estacional**

El anestro estacional es la consecuencia de un descenso en la actividad del eje hipotálamo-hipofisario por el cual queda reducida la frecuencia de pulsos de GnRH y en consecuencia también la secreción de las hormonas hipofisarias (Karsch *et al.*, 1984). El mecanismo regulador de la función reproductiva se localiza a nivel del hipotálamo, por lo que el mensaje fotoperiódico actúa sobre él y sobre las células neurosecretoras del sistema nervioso central. El hipotálamo, a su vez, regula la secreción de GnRH a través de la retroacción de los esteroides ováricos, lo que se traduce en una variación estacional de los pulsos de LH, de tal forma que la frecuencia de los pulsos se incrementa durante los días cortos y



disminuye en los largos. Los efectos del fotoperiodo sobre la secreción de LH y la retroalimentación negativa de los esteroides pueden ser simulados usando ovejas pinealectomizadas y utilizando infusiones seriadas de melatonina (Bittman *et al.*, 1985).

En estudios realizados con ovejas ovariectomizadas e implantadas con estradiol (OVX+E2) durante la época reproductiva, el estradiol demostró tener muy poco efecto en la inhibición de los pulsos de LH y ninguno sobre la frecuencia de los mismos (Goodman *et al.*, 1982); existiendo, por lo tanto, una marcada disminución de la sensibilidad del eje gonadotropo en la retroalimentación negativa del estradiol durante esta época (Legan *et al.*, 1977; Karsch *et al.*, 1980; Goodman *et al.*, 1981).

Por el contrario, en anestro estacional, el estradiol se convierte en un potente inhibidor de la frecuencia de pulsos de GnRH y LH (Karsch *et al.*, 1980; Goodman *et al.*, 1982), de forma que la frecuencia de liberación de las hormonas hipofisarias disminuye hasta llegar a niveles basales, alrededor de un pulso cada 12 horas (Barrel *et al.*, 1992), lo que tiene lugar debido a un marcado aumento en la sensibilidad del hipotálamo en la retroalimentación negativa del estradiol ovárico. Estos cambios en la sensibilidad al estradiol, son un reflejo del cambio estacional que el fotoperiodo produce sobre la actividad de las neuronas hipotalámicas que muestran sensibilidad a los estrógenos y que están en contacto con las neuronas GnRH del hipotálamo mediobasal (Gayrard *et al.*, 1994; Havern *et al.*, 1994; Lehman *et al.*, 1996).

Otro aspecto importante, en relación a las variaciones estacionales de la reproducción y el anestro estacionario, es que la secreción de prolactina se ve afectada por el fotoperiodo, siguiendo un patrón estacional, produciéndose las mayores concentraciones durante la época de anestro (en el verano) y las más bajas en la estación reproductiva (a principios del otoño), tanto en la oveja (Walton *et al.*, 1977) como en la cabra (Prandi *et al.*, 1987; 1988). De forma que estos últimos autores sugieren que los niveles de prolactina son una “señal” de la época de anestro (altos niveles) o reproductiva (bajos niveles) más que una “causa” de la estacionalidad reproductiva (Celi, 2012).

#### **3.4. Influencia de la nutrición sobre el control de la reproducción**

La nutrición afecta a muchos aspectos de la reproducción, que son comunes tanto en el ganado caprino como en el ovino, así como en muchas otras especies de mamíferos, tales como la edad a la pubertad en ambos sexos, la tasa de ovulación, la supervivencia embrionaria, la fertilidad, el intervalo hasta la siguiente estación reproductiva o el crecimiento testicular y la producción espermática (Smith, 1991; Clarke y Tilbrook, 1992; Rhind, 1992; Robinson, 1996; Delgadillo *et al.*, 1999; Zarazaga *et al.*, 2005; 2009b).

Lograr que las hembras se reproduzcan constituye la suma de una serie de hechos que precisan, entre otras cosas, de un nivel y composición nutritiva adecuada (Gunn, 1983). Así, en unas condiciones nutritivas fluctuantes a lo largo del año, la estrategia que conducirá a un mayor éxito en el manejo de los animales será aquella en la que las hembras dispongan de una mejor

alimentación en los periodos críticos de su actividad reproductiva (Lindsay, 1996). Los pequeños rumiantes están adaptados a la alimentación en pastoreo y por lo tanto las condiciones de alimentación varían enormemente en función de factores como el clima, suelo o la vegetación existente.

A pesar de que existe unanimidad en la literatura a la hora de considerar el efecto positivo que la nutrición ejerce sobre la tasa de ovulación y la reproducción en general, distintos autores han demostrado que la actividad sexual es un parámetro menos modificable mediante la nutrición, debido a que, principalmente, está controlada por el fotoperiodo. Existen pocos trabajos en el caprino en relación al control de la estación reproductiva por acción de la nutrición y de qué manera influye sobre la presentación de ciclos sexuales (Zarazaga *et al.*, 2005).

Estos autores observaron que las cabras mejor alimentadas presentaron una duración del periodo de actividad reproductiva más largo que las cabras que estaban peor alimentadas. Igualmente, también se ha indicado que una severa subnutrición puede prolongar la duración del anestro estacionario como consecuencia de una precoz finalización de la estación sexual (Knight *et al.*, 1983; Richards *et al.*, 1989). Por otro lado, la condición corporal, que es un predictor del estado de reservas corporales del animal y por extensión del nivel nutricional que está recibiendo, tiene una clara influencia sobre la duración del periodo de actividad reproductiva (Forcada *et al.*, 1992; Zarazaga *et al.*, 2005).

Es conveniente destacar que la reducción del anestro estacionario se produce más como consecuencia de un retraso en el inicio del mismo que debido a un adelanto del comienzo de la estación reproductora, con lo que la nutrición parece actuar más eficazmente en situaciones de fotorrefractoriedad a los días cortos que en otras de sensibilización al efecto inhibitor de los días largos previos al solsticio de verano. Finalmente, en caprino también se ha observado que un peor estado corporal puede provocar que la frecuencia de ciclos estrales largos y cortos sea más elevada que en hembras con mejor condición corporal (Rondina *et al.*, 2005).

Tanto en caprino (Henniawati y Fletcher, 1986; Mani *et al.*, 1992) como en ovino (Forcada *et al.*, 1992; Rhind y McNeilly, 1998; Scaramuzzi *et al.*, 2006) se ha observado que la nutrición y el nivel de reservas corporales afectan a la tasa de ovulación y fertilidad, de manera que, en general, la tasa de ovulación es mejor cuando se mejora el nivel de alimentación o el estado de condición corporal. También, los resultados reproductivos en los pequeños rumiantes están correlacionados con cambios en el peso vivo. Así por ejemplo, en la cabra Boer, se observó que el peso vivo medio y el inicio de la pubertad variaron en función del nivel energético de la dieta (Greyling, 1988); incluso, en vacuno de carne, importantes pérdidas en el peso provocan inactividad reproductiva (Richards *et al.*, 1989).

Por otro lado, las deficiencias nutricionales pueden mostrar sus efectos en un corto, medio o largo plazo. Así, mientras muchos estudios muestran que una pérdida de peso corporal no afecta en gran medida el rendimiento reproductivo, las pérdidas acumuladas durante varias estaciones reproductivas pueden propiciar estados de esterilidad en los animales (Robinson, 1981). Si bien se conocen los principios generales de la respuesta a estos resultados, todavía es necesario descubrir un buen número de mecanismos endocrinos implicados, ya que las condiciones concretas en las que se han realizado la mayoría de los estudios y las diferencias entre las razas utilizadas hacen que los resultados sean difícilmente comparables (Gunn, 1983).

Por lo descrito anteriormente, a la hora de intentar analizar los efectos de la nutrición sobre la reproducción, es necesario aportar información concreta, como en qué momento (época o momento del ciclo reproductivo) una mejora de la nutrición tiene un mayor efecto sobre la reproducción o bien intentar realizar alguna predicción del aumento de los rendimientos reproductivos en función de la magnitud y duración del tratamiento alimenticio llevado a cabo (Celi, 2012).

### **3.5. Neurotransmisores**

Un neurotransmisor es la sustancia producida por una célula nerviosa capaz de alterar el funcionamiento de otra célula de manera breve o durable, por medio de la ocupación de receptores específicos y por la activación de mecanismos iónicos y/o metabólicos.

Es una sustancia capaz de estimular o inhibir rápida o lentamente, desde milésimas de segundo hasta horas o días. Puede liberarse hacia la sangre, en lugar de hacia otra neurona, glándula o músculo, y para actuar sobre varias células y a distancia del sitio de liberación (como una hormona), puede permitir, facilitar o antagonizar los efectos de otros neurotransmisores.

O también puede activar otras sustancias del interior de la célula (los llamados segundos mensajeros) para producir efectos biológicos (por ejemplo, activar enzimas como las fosforilasas o las cinasas). Y además, una misma neurona puede tener efectos diferentes sobre las estructuras postsinápticas, dependiendo del tipo de receptor postsináptico presente, por ejemplo; excitar en un sitio, inhibir en otro e inducir la secreción de una neurona en un tercero (Brailowsky, 1995). La neurotransmisión es iniciada en las terminales presinápticas mediante la fusión de vesículas sinápticas con la membrana plasmática y una subsecuente liberación exocítica de transmisores químicos (Khvotchev y Kavalali, 2008; Tinajero, 2008).

La mayoría de los neurotransmisores y neuromoduladores poseen tanto propiedades excitatorias como inhibitorias, dependiendo de varios factores, tales como composición del neurocircuito, estado de desarrollo, y ambiente hormonal. Por lo tanto, la clasificación de neurotransmisores inhibitorios y estimulatorios está basada sobre características generales del control de la liberación pulsátil de GnRH en el adulto (Terasawa y Fernández, 2001).

### **3.6. Aminoácidos Excitatorios**

Numerosos trabajos parecen haber demostrado la implicación de algunos aminoácidos en la transmisión de la información aportada por la luz desde la retina hasta el núcleo supraquiasmático y la glándula pineal. Estos aminoácidos son conocidos de manera general como aminoácidos excitatorios (AAE) y cumplen la función de neurotransmisores. Dentro de los AAE los más estudiados han sido cuatro: L-aspartato, L-glutamato, los ácidos  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) y la glicina.

Dentro de esta clasificación, entre los aminoácidos neurotransmisores han sido clasificados en inhibitorios y excitatorios. Entre los inhibidores tenemos: el gama amino butírico o GABA, la taurina, la glicina y la alanina. Estos actúan sobre receptores asociados a canales iónicos, abren canales de cloro, producen una hiperpolarización de la membrana post-sináptica y disminuyen la actividad neuronal. Por otra parte, entre los aminoácidos excitadores tenemos: el homocistéico, el aspártico y el glutámico, los cuales actúan sobre receptores asociados a canales iónicos, abren los canales de sodio, producen una despolarización de la membrana postsináptica y aumentan la actividad neuronal (Tovar, 2007; Santillano, 2009).

### **3.7. Glutamato**

El glutamato es el principal neurotransmisor-excitador del sistema nervioso (Fonnum, 1984; Ottersen y Storm-Mathisen, 1984), y en humanos participa en numerosos procesos fisiológicos de importancia, como el desarrollo de la plasticidad, la memoria y el aprendizaje, así como en varias patologías, entre las que se encuentran la epilepsia, la isquemia cerebral, el Parkinson y la esquizofrenia (Amara y Fontana, 2002; Shigeri *et al*, 2004).

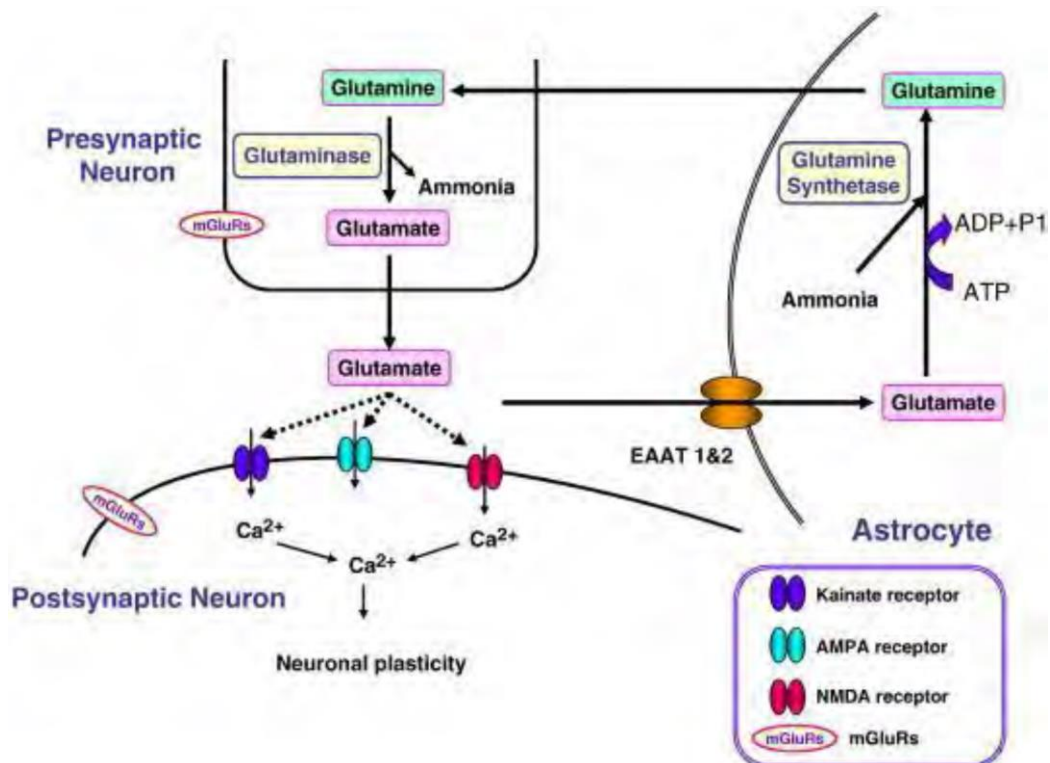
En el sistema nervioso central (SNC) de los mamíferos, el glutamato, en este caso, no solo es utilizado por las células para síntesis de proteínas o transaminación con otros compuestos, sino que, además, es el principal neurotransmisor excitatorio (Leone, 2011).

#### **3.7.1. Metabolismo del glutamato**

En el cerebro, el glutamato proviene de dos fuentes principales: desde glucosa a través del ciclo de Krebs y transaminación de  $\alpha$ -cetoglutarato y desde glutamato que es tomado desde el espacio sináptico tanto por neuronas como astrocitos (Barnes y Slevin, 2003). El ácido glutámico o glutamato, es un aminoácido dicarboxílico que desempeña un papel central en relación con los procesos de transaminación y en la síntesis de distintos aminoácidos que necesitan la formación previa de este ácido, como es el caso de la prolina, oxiprolina, ornitina y arginina. Se acumula en proporciones considerables en el cerebro; de 100-150 mg por 100 gr de tejido fresco.



De todos los posibles precursores, la glutamina es la más importante en la síntesis de este neurotransmisor y, por consiguiente, la glutaminasa mitocondrial de los terminales nerviosos sería la enzima responsable de su formación. De hecho, la regulación de esta enzima está estrechamente ligada a la actividad del terminal nervioso. Debido a que se inhibe por glutamato, el producto de la reacción, en condiciones de reposo o inactividad de los altos niveles de glutamato intraterminales (3-10 mM) mantienen la enzima inactiva. Tras la llegada de un potencial de acción se produce liberación de glutamato desapareciendo, por tanto, la inhibición existente sobre la enzima (Figura 1), lo que equivale a una activación de la formación de glutamato que restaura los niveles del neurotransmisor en el terminal sináptico.



**Figura 1. El ciclo glutamato-glutamina en la comunicación glía-neurona**

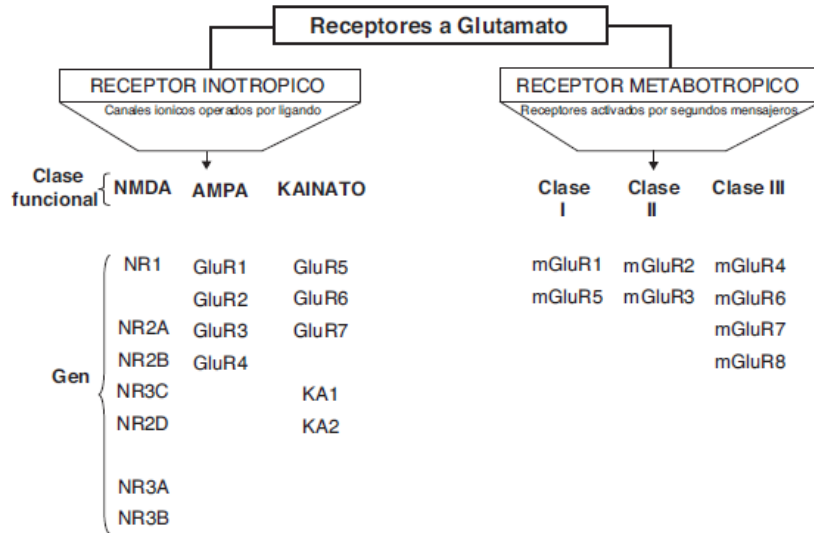
(Hashimoto, 2009)

La glutamina principalmente a través del excitador amino-ácido transportador (EAAT1/2) está presente predominante en los astrocitos. En los astrocitos, la glutamina sintetasa convierte el glutamato en glutamina utilizando amoníaco dentro de las neuronas, así se completa el ciclo glutamato-glutamina en el cerebro. Varios receptores de glutamato están presentes en las neuronas presinápticas y postsinápticas, así como en las células gliales. Estos incluyen tanto los receptores ionotrópicos AMPA ( $\alpha$ -amino-3-hidroxi-5metil-isoxazol propiónico), NMDA (N-metil-D-aspartato) y Kainato y un cuarto subtipo iGluR cuarto, denominado delta, es un “huérfano” subtipo- ya que no forman canales funcionales iónicos, y tienen funciones celulares desconocidas, así como los receptores de glutamato metabotrópicos (mGluRs). Aunque estos canales de glutamato tienen distintas propiedades fisiológicas y farmacológicas, comparten similitudes estructurales (Hashimoto, 2009).

### **3.7.2. Receptores del glutamato**

Los receptores del glutamato (GluRs) se encuentran distribuidos en todo el SNC y se clasifican en dos grandes superfamilias. La primera la forman los canales iónicos activados por ligando o GluRs ionotrópicos (iGluRs), que son permeables a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Los iGluRs se encuentran clasificados en tres familias con base en datos farmacológicos y electrofisiológicos: los receptores para  $\alpha$ -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propionato (AMPA), los receptores para kainato (KA) y los receptores para N-metil-D-aspartato (NMDA) (Figura 2) (Hollmann y Heinemann, 1994). A la segunda superfamilia pertenecen los GluRs acoplados a los segundos mensajeros vía proteínas G: inositol 3-fosfato,

diacilglicerol y AMP cíclico; éstos reciben también el nombre de receptores metabotrópicos (mGluRs) (Conn PJ, 2003).



**Figura 2. Clasificación de los receptores de glutamato**

(Rodríguez y López 1997; Ozawa *et al.*, 1998)

La estimulación de los receptores NMDA produce un aumento en la secreción pulsátil de LH; dicho estímulo se ha observado tanto en ratas (Arslan *et al.*, 1988) como en la especie ovina (Bourguignon *et al.*, 1989) y parece estar ligado a los esteroides ováricos, puesto que no existe ningún efecto si los animales son sólo OVX, sin el aporte exógeno de estradiol (Estienne *et al.*, 1990; McDonald y Wilkinson, 1991).

El uso del NMDA también ha demostrado tener efecto en corderas pre-púberes en la secreción de LH y, este efecto, no es afectado por una restricción nutricional durante el crecimiento o por un fotoperiodo inhibitorio (Ebling *et al.*, 1990). Igualmente, se ha demostrado que el inicio de la pubertad viene asociado

con el incremento de los neurotransmisores L-aspartato y L-glutamato con la respectiva generación de pulsos de GnRH (Lincoln y Wu, 1991).

Estudios realizados en ovejas mostraron que el NMDA provoca un aumento en la secreción de LH y su acción es independiente del fotoperiodo (Viguié *et al.*, 1995), aunque otros estudios indican que la estimulación de la secreción de LH por acción del NMDA fue mayor durante la época de anestro que durante la estación reproductiva (Lincoln y Wu, 1991). Es importante resaltar que parecen existir distintos grados de estimulación de la secreción de LH por parte del NMDA, en función de la situación fotoperiódica del animal; así, Lincoln y Wu (1991), en trabajos realizados con moruecos, demostraron como dicha estimulación era mayor en el caso en que se encontraran bajo un fotoperiodo de fotoinhibición que durante la fotoestimulación.

Estas modificaciones en la respuesta de la secreción LH por acción del NMDA surgen por modificaciones en la liberación de la GnRH, y no por los cambios de la respuesta hipofisaria a la GnRH, sugiriendo que el NMDA actúa posiblemente a un nivel hipotalámico (Viguié *et al.*, 1995). En este mismo trabajo, comprobaron cómo la secreción de LH, inducida por el NMDA, era menor en ovejas en las que la LH se encontraba estimulada por un tratamiento con melatonina. Esto sugiere que los AAE pueden estar implicados en el control estacional de la reproducción que se ejerce a través de la melatonina, al provocar cambios en la sensibilidad frente al NMDA y la consecuente secreción de GnRH. Igualmente, en trabajos realizados con machos cabríos (Gazal *et al.*, 2002) se

observó que el NMDA produjo un mayor incremento en la secreción de LH durante los días largos.

Varios estudios han demostrado que el NMDA estimula la liberación de GnRH tanto in vitro (Gay y Plant, 1982) como in vivo (Viguié *et al.*, 1995). Estos aminoácidos también pueden estimular otras vías neuromoduladoras, por ejemplo, la vía neuropéptida (Bonavera *et al.*, 1993) o la catecolaminérgica (Saitoh *et al.*, 1991). Los resultados de estos trabajos recomiendan la necesidad de realizar nuevos estudios que impliquen una mayor exposición frente a fotoperiodos inhibitorios para ver un rol más claro de los AAE en la regulación de la secreción de LH durante la época de anestro estacionario (Gazal *et al.*, 2002).

### **3.8. Hormonas tiroideas**

La tiroides es la glándula endocrina maestra que juega un papel central en el metabolismo intermediario de prácticamente todos los tejidos, y es de fundamental importancia para el desarrollo del sistema nervioso central (SNC) en fetos y en el recién nacido. Los efectos generalizados de la tiroides resultan de la biosíntesis y secreción de dos únicas hormonas, T3 y T4, las únicas hormonas que contienen yodo en vertebrados. El yodo es un constituyente esencial de T3 y T4 de tal manera que tanto la función tiroidea en su conjunto como sus repercusiones sistémicas dependen del adecuado aporte de yodo a la glándula. Un eficiente y especializado sistema ha evolucionado en la tiroides que asegura que la mayoría de la ingestión dietética de yodo es acumulada en la glándula y por lo tanto, disponible para la biosíntesis de T3 y T4. El significado de esto se

vuelve más aparente cuando se considera que el yodo es escaso en el medio ambiente (Delange, 1994).

Las hormonas tiroideas son reguladores clave del metabolismo y tienen efectos pleiotrópicos en muchos órganos (Boelaert y Franklin, 2005). Las hormonas de la tiroides provocan una extraordinaria multiplicidad de respuestas bioquímicas, celulares y fisiológicas en los organismos desde los más simples hasta los más complejos. Las diversas acciones de la hormona tiroidea biológicamente activa, T3, pueden ser divididos en dos grupos: crecimiento-desarrollo y regulación del metabolismo (Tata, 2007). Aunque las hormonas tiroideas están relacionadas en múltiples aspectos de la reproducción su papel en aspectos reproductivos como la pubertad no ha sido ampliamente estudiado.

El entendimiento de los mecanismos que regulan la función reproductiva tiene importantes implicaciones para diversos campos del desarrollo de la biología, la neurociencia y la psicobiología, además de en la ecología del comportamiento y la evolución de las especies (Greives *et al.*, 2008). Muchas de las especies animales experimentan marcadas variaciones en sus condiciones ambientales a través del año (Bronson, 1989).

Un cambio en el estado metabólico, definido como el cambio en la disponibilidad de nutrientes y energía a los tejidos, es un poderoso regulador de la función reproductiva en pequeños rumiantes. La naturaleza y la función de varios de los componentes de las rutas vinculando el estado metabólico a la reproducción son considerados: nutrientes y metabolitos, el sistema endocrino y

el sistema nervioso (Blache, 2006). Tanto T3 como T4 están involucradas en la diferenciación y crecimiento del tejido y en la regulación de numerosas funciones corporales, principalmente afectando la tasa metabólica (Karsch, 1995).

### **3.8.1. Hormonas tiroideas y estacionalidad reproductiva**

La naturaleza metabólica y termorreguladora de las limitantes fisiológicas actuando sobre el tiempo de empadre sugiere que varias hormonas están involucradas, incluyendo las hormonas tiroideas. Las hormonas tiroideas y especialmente la T3 juegan un papel importante en el metabolismo y termogénesis, además de otros aspectos específicos en los que ya se ha establecido que interviene (Chastel *et al.*, 2003). Las hormonas tiroideas juegan un papel importante en la adaptación a los cambios ambientales.

La T4 y T3 estimulan el consumo de oxígeno y la producción de calor en las células, incrementando la tasa metabólica basal, promueve la utilización de glucosa, modifican el metabolismo de los lípidos y estimulan las funciones cardiacas y neuronales. Las glándulas tiroideas principalmente secretan T4, el cual es monodeionizado a T3 antes de interactuar con las células con receptores a dicha hormona (Ocak *et al.*, 2009).

Además, parecen jugar un papel esencial de significancia fisiológica sobre el control estacional del ciclo reproductivo en ovejas y hembras gorriones americanas. La T4 toma parte en una regulación inhibitoria de la secreción hormonal ovárica y la foliculogénesis en ratas inmaduras. Se ha observado que pequeñas dosis de hormonas tiroideas administradas a ratones hembras resultan

en el logro temprano de la madurez sexual con una abertura temprana de la vagina y el inicio del ciclo estral. Durante el ciclo menstrual, los niveles de las hormonas tiroideas fluctúan en relación a los niveles de estrógeno circulante (Dainat *et al*, 2009). El hipotiroidismo inhibe la respuesta al fotoperiodo y el patrón de empadre estacional en ovejas y aves (Doufas y Mastorakos, 2006).

El mecanismo molecular de medida del tiempo estacional o fotoperiódico, no se ha comprendido hasta el momento en ningún organismo. En aves, el hipotálamo mediobasal (MBH) incluye el núcleo hipotalámico posterior medial (NHPM), el núcleo infundibular y la eminencia media. El MBH es un importante centro de control de la medida del tiempo fotoperiódico. La ruptura de ésta resulta en la pérdida de la respuesta fotoperiódica de las gónadas aun si el sistema de liberación de la hormona GnRH del animal lesionado se mantiene intacto.

La estimulación eléctrica de esta área incrementa la secreción de la hormona luteinizante e induce el crecimiento testicular. Además, la expresión del gen c-Fos (un marcador de aumento en la actividad neuronal) ha sido reportada en estas estructuras como el resultado de la fotoestimulación de un día largo y de fotoreceptores que se piensa están localizados en el núcleo infundibular. Recientemente, se ha observado la expresión de los genes del reloj circadiano en el MBH, y se propone que éste puede funcionar como un reloj fotoperiódico. Esta observación indica que toda la maquinaria esencial para la medida del tiempo fotoperiódico está localizada en el MBH. Al identificar estos genes se encontró que sólo el gen *Dio2* fue inducido significativamente por un pulso de luz durante esta fase fotoinducible, en los niveles de expresión entre los días cortos



y días largos en la región de núcleo infundibular y la eminencia media (Yoshimura *et al.*, 2003).

La posible evidencia de que la hormona tiroidea (TH) juega un papel importante en la expresión del ciclo estacional, se remonta a estudios realizados en especies de aves y mamíferos, estableciendo un lazo entre la función tiroidea y el período de fecundación. Sin embargo, la ausencia de consistentes cambios en los niveles séricos de TH dependientes del fotoperiodo, ha mantenido indefinido como la señalización de TH podría suponer nada más allá de un papel permisivo en los mecanismos del proceso reproductivo estacional (Morgan y Hazlerigg, 2008). La enzima Dio2 convierte T4 en T3, la cual es la principal forma activa de las hormonas tiroideas.

La Dio2 es esencial en el control local de los niveles de T3 en el cerebro a través de mecanismos que operan bajo una variedad de condiciones para mantener las concentraciones de T3 dentro de un rango estrecho. Aunque las diferencias entre las concentraciones séricas de T3 y T4 fueron no significativas entre días cortos y días largos, el contenido de ambos en el MBH es diez veces mayor en días largos en comparación con los días cortos. Esta diferencia no se observa en otras partes del cerebro. Se ha sugerido que la liberación fotoperiódica de GnRH pudiera estar controlada en las terminales de GnRH por las células glía, las hormonas tiroideas están involucradas en el desarrollo, plasticidad y funcionamiento del sistema nervioso central (Yoshimura *et al.*, 2003).

### **3.8.2. Hormonas tiroideas y función reproductiva**

Los receptores de hormonas tiroideas y estrógenos son miembros de una subclase dentro de esta familia debido a su estructura homóloga y la similitud entre el ADN de la hormona respuesta y los elementos a los que se unen. La secuencia nucleotídica constitutiva del elemento de respuesta del receptor de hormona tiroideas AGGTCA, es la misma para el elemento de respuesta del receptor de estrógeno. De hecho la triyodotironina puede interferir con la regulación del estrógeno en ratas (Dellovade *et al.*, 1999).

El tamaño de la tiroides medido a través de ultrasonografía varía durante el ciclo menstrual, siendo mayor a mitad del ciclo, como era de esperarse, este incremento se correlaciona positivamente con los niveles séricos de tiroglobulina (Zhao *et al.*, 2006). Hay pocos datos sobre los efectos del exceso de hormonas tiroideas sobre el desarrollo del aparato reproductivo femenino. La administración de grandes dosis de T4 en ratas neonatales resulta en un retraso en la apertura vaginal y el primer estro (Doufas y Mastorakos, 2006).

En contraste, la administración de hormonas tiroideas ha sido reportada que actúa en sinergia con FSH para estimular la diferenciación de células de la granulosa porcina. Además también existen estudios que indican la presencia de receptores de hormonas tiroideas en el útero por lo que podrían esperarse cambios después de su administración, de hecho el exceso de esta hormona causa engrosamiento del endometrio, así como, una disminución en la retención y el consumo de estradiol por el útero en ratas (Aghajanova *et al.*, 2009).

Igualmente un exceso en hormonas tiroideas perjudica al feto, causando abortos y muertes neonatales. Sin embargo, un muy bajo grado de tirotoxicosis ayuda en el mantenimiento de la implantación del blastocito tardío y un aumento de tamaño de camada (Doufas y Mastorakos, 2006).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Localización del área experimental**

El estudio se realizó en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, localizada en el municipio de Tlahualilo, Durango, México, entre las coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 639935 E y 2864331 N, las cuales corresponden a las coordenadas geográficas 25° 53' 31.99" LN y 103° 36' 11.23" LO, a una altura de 1,117 msnm. El clima se clasifica como semidesértico extremoso (García, 1981). La temperatura media anual es de 22.3°C, de abril a octubre la temperatura media mensual es superior a 20°C y de noviembre a marzo, con rangos mensuales entre 13.6°C y 19.4°C.; la precipitación promedio anual es de 217.1 mm (Santos, 1973). Durante junio ocurren las temperaturas más altas con más de 40°C y el mes más frío es en enero con temperatura mínima de 4°C (Santos, 1973; García, 1981).

### **4.2. Animales, su alimentación y duración del periodo experimental**

Cabras primaras (n=20), con un peso aproximado de 26 kg, 10 meses de edad y un encaste de 7/8 Saanen-Alpina, recibieron una dieta para cubrir el 110% de sus requerimientos nutricionales ajustados al PV (NRC, 1981). Tanto el peso vivo (PV) como la condición corporal (CC) se registraron cada dos semanas previa a su alimentación. La CC fue evaluada mediante palpación dorsal y costal utilizando una escala de 1 (muy flaca) a 5 (muy gorda).

Las cabras fueron alimentadas dos veces al día: por la mañana (07:00) ofreciendo 1 kg heno de alfalfa (14% PC, 1.14 ENm Mcal kg<sup>-1</sup>) y 1.300 kg de ensilado de maíz (8.1% PC, 1.62 ENm Mcal kg<sup>-1</sup>) y por la tarde (18:00) 200 g de maíz rolado (11.2% PC, 2.38 ENm Mcal kg<sup>-1</sup>). En el Cuadro 1, se muestra el contenido de materia seca (MS), aporte de Energía Neta para mantenimiento (ENm) y Proteína Cruda (PC) de cada uno de los ingredientes de la dieta ofrecida a las cabras durante el periodo experimental. El agua fue suministrada a libre acceso, bajo condiciones naturales de luz, en los meses de febrero y marzo.

**Cuadro 1.** Contenido de Materia seca (MS, %), energía neta para mantenimiento (ENm, Mcal kg<sup>-1</sup>) y proteína cruda (PC, %) de los ingredientes de la dieta ofrecida durante el periodo experimental.

<b>Ingredientes</b>	<b>MS (%)</b>	<b>ENm (Mcal kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>PC (%)</b>
Heno de alfalfa	90	1.14	14.0
Ensilaje de maíz	33	1.62	8.1
Maíz rolado	86	2.38	11.2

#### **4.3. Muestreo intermitente de sangre, colección y almacén de muestras**

A inicios del mes de febrero se realizaron tres muestreos intermitentes de sangre al total de las cabritas del estudio. Las muestras sanguíneas fueron colectadas por venopunción de la yugular utilizando agujas estériles de 0.8 x 38 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 (1500 x g, 15 min) cada muestra de suero con su réplica, fue almacenada en tubos de polipropileno MCT-150C (AxygenMR Scientific) de 1.5 ml a -4 °C.

#### **4.4. Diseño experimental y de tratamientos**

A mediados de febrero, las cabras que no mostraron actividad reproductiva, fueron aleatoriamente distribuidas en dos grupos experimentales: a). Grupo Control (AAE, n=54) y b). Grupo Aminoácidos Excitadores (CONT, n=48). El grupo AA recibió una infusión endovenosa, 7 mg kg<sup>-1</sup> PV de L-Glutamato (Merck, Germany) los lunes y los viernes durante todo el periodo experimental. Por su parte, las cabras primaras del grupo CONT recibieron una aplicación endovenosa de agua destilada los lunes y los viernes para homogenizar las condiciones a las que fueron expuestas las cabras del grupo AAE.

#### **4.5. Determinación de la función ovárica y cuantificación de triyodotironina**

Una vez que las cabras se distribuyeron aleatoriamente en su respectivo tratamiento, se realizó, a mediados de febrero, un muestreo intermitente de sangre (2 veces por semana) por un periodo de 6 semanas al total de las cabritas del estudio. Las muestras fueron evaluadas por duplicado para la cuantificación del contenido de progesterona (P4) y triyodotironina (T3), mediante radioinmunoanálisis (RIA). Los análisis endocrinos fueron realizados en el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Estatal de Nuevo México,

EUA. El análisis endocrino permitió definir el número de cabras mostrando o no actividad lútea en época de transición al anestro (febrero-marzo) por un posible efecto de tratamientos; las cabras que mostraron niveles séricos de progesterona superiores a  $1 \text{ ng ml}^{-1}$  fueron consideradas como reproductivamente activas (Cushwa, 1992).

#### **4.6. Análisis estadísticos**

Los pesos corporales (PV), la condición corporal (CC) y las concentraciones séricas de T3 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). El efecto de tratamiento, AAE (n=10) y CONT (n=10), fue incluido en la parcela mayor utilizando el término de cabra dentro de tratamiento para calcular el error. El tiempo de muestreo y la interacción del tratamiento x tiempo fueron incluidos en la parcela menor, utilizando el cuadrado medio residual para probar sus diferencias. En el evento de un efecto significativo, la separación de medias consideró el procedimiento PDIFF, para probar sus diferencias mediante el procedimiento LSMEANS del procedimiento GLM (PROC GLM) del SAS (Littell *et al.*, 1991).

El porcentaje de cabritas mostrando o no actividad ovárica se comparó con un análisis de  $\chi^2$ . El análisis estadístico de los datos consideró un procedimiento estadístico para tablas de frecuencia analizados por ji-cuadrada. Se analizó la información de acuerdo a la distribución para datos categorizados, en tablas de

contingencia para prueba de homogeneidad de los tratamientos. En todos los análisis se utilizaron los procedimientos del paquete estadístico SAS.

#### 4.7. Modelos estadísticos

**Modelo I) Modelo para peso vivo (PV), condición corporal (CC) y niveles séricos de triyodotironina (T3):**

**Modelo I):**

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + ID_{j(i)} + t_k + T_{(ik)} + E_{ijk}$$

Donde los componentes de la ecuación representan:

$Y_{ijk}$  = Respuesta para peso vivo y condición corporal en la j-ésima cabra expuesta al i-ésimo tratamiento en el k-ésimo tiempo de muestreo.

$\mu$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento, donde  $i = 1, 2$  (AAE, CONT).

$ID_{j(i)}$  = Efecto de la j-ésima cabra en el i-ésimo tratamiento (ERROR A).

$t_k$  = Efecto del k-ésimo tiempo de muestreo, donde  $k = 1, \dots, 20$ .

$T_{t(jk)}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo tratamiento dentro del k-ésimo tiempo de muestreo.

$E_{ijk}$  = Error experimental del i-ésimo tratamiento más la j-ésima cabra más el k-ésimo tiempo de muestreo ( $\sim$  NID,  $\mu=0$ ,  $\sigma^2 e$ ).



**Modelo II)  $\chi^2$  para la determinación del % de cabritas mostrando actividad ovárica**

$$X^2_0 = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ji} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde los componentes de la ecuación representan:

**$X^2_0$**  = Estadístico de prueba para probar  $H_0$ .

**n** = Tratamiento (AAE, CONT).

**c** = Tiempo de muestreo (1,.....,20).

**$N_{ij}$**  = Concentración de Progesterona de la i-ésima cabra en el j-ésimo tratamiento.

**$E_{ij}$**  = Valores esperados de concentración de progesterona bajo el supuesto de homogeneidad de poblaciones entre grupos de tratamiento para la i-ésima cabra dentro del j-ésimo tratamiento.

Calculados mediante:

$$E_{ij} = \frac{(n_i \cdot c_j)}{n}$$

Donde los componentes de la ecuación representan:

**$n_i$**  = Número de cabras por tratamiento.

**$c_j$**  = Número de cabras muestreadas por tiempo.

**n** = Número total de cabras.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** Los dos tratamientos muestran las mismas concentraciones de progesterona en dos muestras consecutivas, sin diferencias en el tiempo con respecto a la activación de la función ovárica durante la etapa de transición al anestro estacional.

**H<sub>1</sub>:** Los dos tratamientos muestran diferentes concentraciones de la progesterona en dos muestras consecutivas, con diferencias en el tiempo con respecto a la activación de la función ovárica durante la etapa de transición al anestro estacional, favoreciendo al grupo suplementado con glutamato.

## V. RESULTADOS

Tanto el PV ( $P=0.94$ ), la CC ( $P=0.88$ ) y los niveles séricos de T3 ( $P>0.05$ ) no difirieron entre tratamientos. Sin embargo, el porcentaje de cabritas mostrando reactivación en la función ovárica difirió ( $P<0.05$ ) entre tratamientos observando un inicio más temprano y un mayor porcentaje en las cabras primaras tratadas con glutamato (55 vs. 12.5 %; Cuadro 1). En el mismo sentido, el perfil sérico de T3 al través del tiempo difirió ( $P<0.05$ ) en favor del grupo suplementado con glutamato con un pico en el segundo tercio del experimento terminando con otro aumento hacia el último tercio del periodo experimental coincidente con la reactivación en la función ovárica (Gráfica 1).

**Cuadro 2.** Medias de mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar para peso vivo (PV, kg), condición corporal (CC, unidades), porcentaje de cabras primaras mostrando re-activación ovárica (RAO) y niveles séricos de T3 durante febrero-marzo bajo fotoperiodo natural en la Comarca Lagunera ( $n=20$ , 25<sup>o</sup> LN)

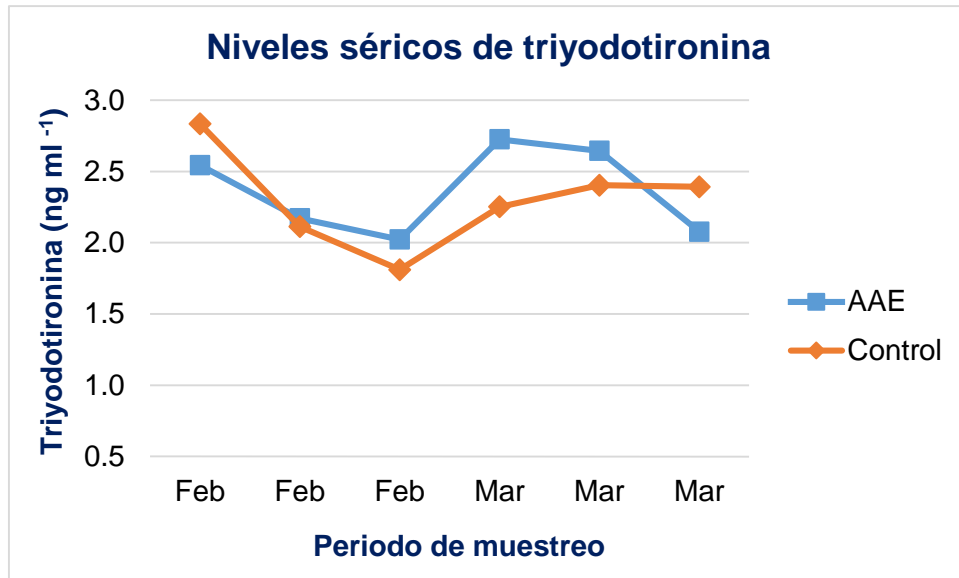
	Tratamientos			
	AAE	CONT	NSO <sup>2</sup>	EE <sup>3</sup>
<b>PV</b>	27.17 <sup>a</sup>	29.22 <sup>a</sup>	0.94	1.09
<b>CC</b>	3.50 <sup>a</sup>	3.53 <sup>a</sup>	0.88	0.18
<b>RAO <sup>1</sup></b>	55.0 <sup>a</sup>	12.5 <sup>b</sup>	0.05	16.6
<b>T3</b>	2.37 <sup>a</sup>	2.30 <sup>a</sup>	0.15	0.62

<sup>1</sup> Cabras mostrando re-activación ovárica, con dos o más muestras consecutivas con niveles séricos de progesterona (P4) mayores a 1.0 ng ml<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> NSO, nivel de significancia observado.

<sup>3</sup> EE, error estándar de medias de mínimos cuadrados más conservador.

\* Diferentes literales en la misma línea indican diferencias estadísticas significativas.



**Gráfica 1.** Perfil de secreción de T3 al través del tiempo en cabras primalas durante febrero-marzo bajo fotoperiodo natural en la Comarca Lagunera (n=20, 25° LN).

## VI. DISCUSIÓN

La hipótesis planteada al inicio del estudio proponía un efecto positivo de la suplementación con glutamato al promover una reactivación de la función reproductiva en cabras primaras en la época de transición al anestro estacional, y tal escenario estaría positivamente relacionado a mayores niveles séricos de triyodotironina (T3). Con base en los resultados obtenidos en el estudio, la hipótesis no es rechazada, ya que se observó una re-activación de la función reproductiva y que dicho proceso estuvo positivamente relacionado con mayores niveles séricos de T3 al través del tiempo, aún estando en la época de anestro.

Aunque no existió diferencia ( $P > 0.05$ ) entre grupos experimentales para la relación entre suplementación de glutamato y los niveles séricos promedio de T3, se pudo observar una diferencia ( $P < 0.01$ ) entre el patrón de las concentraciones de T3 en los grupos experimentales en diferentes tiempos al inicio, en el segundo y tercer tercio del período experimental, lo cual se relacionó positivamente con un incremento en el porcentaje de cabras en actividad reproductiva, éste incremento fue observado en ambos grupos experimentales.

Tanto el peso vivo como la condición corporal son consecuencia de cambios metabólicos los cuales ocurren estrechamente al inicio de la pubertad y actividad ovárica (Urrutia-Morales *et al.*, 2009; Meza-Herrera *et al.*, 2011b). De la Isla-Herrera *et al.* (2010), reportaron una mayor tasa ovulatoria en ovejas de condición corporal alta y durante el tiempo de mayor actividad reproductiva. Estos resultados concuerdan con otros estudios que demuestran una relación positiva

entre la condición corporal y la tasa ovulatoria (Gunn y Doney, 1975; Mcneilly *et al.*, 1987; Forcada *et al.*, 1992; Rojas y Rodríguez, 1997).

Sin embargo, en este estudio, no se observaron diferencias en PV y CC entre tratamientos. Por lo anterior, los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la reactivación de la función reproductiva en cabras primaras está relacionado con el efecto positivo que el glutamato ejerce sobre el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, particularmente sobre las neuronas GnRH. Además, al no existir diferencias en PV y CC, se desprende que esta mayor re-activación de la función ovárica se relaciona a un efecto directo del glutamato sobre la función hipotalámica-hipofisiaria-gonadal.

Estudios precedentes de nuestro grupo han evaluado el efecto de la suplementación de glutamato sobre la función reproductiva en ganado caprino. Urrutia-Morales *et al.*, (2009), evaluaron la influencia de los niveles de nutrición y su interacción con el fotoperiodo sobre la actividad ovárica de cabras criollas mantenidas bajo condiciones subtropicales en México, donde estas cabras muestran un anestro estacional de marzo a mayo. Dichos autores observaron un efecto positivo de la suplementación nutricional sobre la actividad reproductiva de cabras criollas, superando el efecto inhibitorio del fotoperiodo para la mayor parte de la época de anestro.

Meza-Herrera *et al.* (2011b) evaluaron el posible efecto del suministro de glutamato en el inicio de la pubertad y los posibles vínculos a los cambios en las concentraciones séricas de insulina (INS), glucosa (GLU) y triyodotironina (T3), encontrando que las concentraciones de insulina y glucosa en suero no difirieron entre tratamientos ( $1.2 \pm 0.06 \text{ ng mL}^{-1}$ ) y  $89.6 \pm 1.8 \text{ mg } 100 \text{ mL}^{-1}$ ;  $P > 0.05$ , respectivamente). Sin embargo, en T3, las concentraciones séricas fueron mayores en las cabras suplementadas con glutamato (AAE) ( $1.55 \pm 0.03$  vs.  $1.39 \pm 0.04 \text{ ng mL}^{-1}$ ).

Asimismo, se produjo una interacción tratamiento x tiempo ( $P < 0.05$ ) en todo el período experimental, encontrando que tanto para T3 como para INS, ocurrió un aumento en sus concentraciones en el último tercio del período experimental, tiempo en el que el inicio de la pubertad se produjo en ambos grupos experimentales. Mientras que para las concentraciones de glucosa no se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) a través del tiempo entre los tratamientos. Estos resultados indican que, en las cabras prepúberes, el glutamato actúa como una señal para la maduración sexual en una vía independiente de glucosa, mientras que tanto T3 y la INS parecen actuar como moduladores metabólicos para el establecimiento de la pubertad en cabras. Por lo tanto, estos resultados concuerda parcialmente con los resultados obtenidos en este estudio, en donde las concentraciones de T3 mostraron aumentos a través del tiempo durante del periodo experimental, lo cual se relacionó positivamente con un incremento en el porcentaje de cabras en actividad reproductiva.

Posteriormente en otro estudio, Meza-Herrera *et al.* (2014a) evaluaron los efectos agudos de la administración de glutamato a corto plazo sobre el número de folículos antrales y la tasa de ovulación en cabras adultas, encontrando que ni el peso vivo ( $44.5 \pm 1.3$  kg), ni la condición corporal ( $3.3 \pm 0.8$  unidades) diferían entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, el número de folículos antrales ( $3.4$  vs.  $2.1$ ,  $P = 0.05$ ) y la tasa de ovulación ( $2.5$  vs.  $1.5$ ,  $P = 0.05$ ) fue mayor en el grupo de glutamato respecto al grupo control.

En otro estudio realizado por el mismo grupo, se evaluó el efecto de la suplementación de betacaroteno (BC) sobre el inicio de la pubertad en cabras y los niveles séricos de triyodotironina (T3), encontrando que no existieron diferencias entre tratamientos para el inicio de la pubertad y tampoco generó un incremento en los valores séricos promedios de T3. Sin embargo, la suplementación de betacaroteno afectó positivamente el patrón de secreción concentraciones de T3 al través del tiempo, alcanzando los valores máximos en el tercer bimestre del período experimental (octubre-noviembre), período de tiempo coincidente con el mayor incremento en el número de cabras alcanzando la pubertad en ambos grupos, lo que sugiere un papel potencial del BC como una molécula activadora de la tiroides; estos resultados podrían tener importancia clínica. Blache *et al.*, (2006) menciona que las hormonas tiroideas tienen un rol en el control de la reproducción estacional en ovejas. Sin embargo, existe muy poca evidencia que sugiera que las hormonas tiroideas son parte de la ruta de señalización relacionada con el balance energético y la reproducción.



En otro estudio, Vergara-Hernández (2014) evaluó la suplementación de glutamato y la función reproductiva en cabras primaras durante el periodo de transición al anestro estacional, encontrando que tanto el PV ( $P=0.94$ ) como la CC ( $P=0.88$ ) no difirieron entre tratamientos a lo largo del período experimental. En el mismo sentido, el porcentaje de cabritas mostrando actividad reproductiva determinada por los niveles séricos de P4, difirió ( $P<0.05$ ) entre tratamientos observando una prolongación de la función ovárica en la etapa de transición al anestro en el grupo AAE con respecto a grupo CONT (55 vs. 12.5 %;  $P<0.05$ ). Lo cual sugiere que la suplementación con glutamato en cabras primaras durante el periodo de transición al anestro estacional afecta positivamente la función reproductiva y tal escenario esta relacionado con los resultados obtenidos en este estudio.

El presente estudio establece un papel importante del glutamato en la interpretación de la información ambiental y la subsecuente regulación del eje neuroendocrino reproductivo al demostrar que la suplementación de glutamato promovió un efecto positivo sobre la extensión de la función reproductiva en cabras primaras en una fecha y lugar en los que, de manera natural, se observa el inicio de un anestro estacional entre febrero y marzo, paralelo a incrementos en el perfil sérico de triyodotironina.

Debido a que en condiciones de temperaturas ambientales altas se suprime la liberación de TSH, T4 y T3 y consigo una baja en la fertilidad, el glutamato puede jugar un rol directo al promover un ambiente neural adecuado, suprimiendo el efecto ambiental, permitiendo el incremento de la secreción de

hormonas de la tiroides, específicamente T3 para que ésta actúe como un modulador metabólico de acción directa en el ovario y un elemento sinérgico involucrado en el proceso que desencadena el inicio de la pubertad. Esto demuestra que el glutamato promueve cambios neuronales en los sistemas endocrinos y metabólicos a través de la etapa prepuberal que posibilitan el inicio de la actividad reproductiva en ambientes extremos.

En resumen, estos resultados destacan a la suplementación con glutamato como una alternativa de manejo nutricional para disminuir la estacionalidad reproductiva, particularmente en genotipos altamente estacionales como lo son los que se encuentran en la Comarca Lagunera. Lo anterior permitiría tener una mejor distribución de los empadres en el tiempo, generando la posibilidad de ofertar tanto leche como carne en un formato menos estacional, lo cual puede ser en beneficio tanto del productor, del comercializador de los productos y de los consumidores.

## VII. CONCLUSIONES

Aunque no existió diferencia ( $P>0.05$ ) entre tratamientos respecto al valor promedio de T3, si existieron diferencias respecto al perfil de secreción de T3 a través del tiempo, observando diferencias ( $P<0.01$ ) a favor del grupo AAE, coincidiendo con un incremento en el porcentaje de cabras mostrando reactivación de la función ovárica. El efecto positivo del glutamato sobre la activación de la función reproductiva en la época de transición al anestro, no estuvo relacionado con incrementos ni en peso vivo ni en condición corporal. Por lo anterior, éste efecto positivo de la suplementación de glutamato sobre la reproducción se destaca como una excelente oportunidad de promover que las cabras extienda su función reproductiva, sin necesariamente requerir de incrementos en peso vivo o condición corporal. Dicho escenario genera la posibilidad de inducir a concebir en periodos precisos del año, fuera de la estación reproductiva, promoviendo un efecto positivo sobre el comportamiento reproductivo y productivo de cabras primaras bajo contextos de zonas áridas.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Aghajanova L, Lindeberg M, Carlsson IB, Stavreus-Evers A, Zhang P, Scott JE, Hovatta O, Skjöldebrand-Sparre L. 2009.** Receptors for thyroid-stimulating hormone and thyroid hormones in human ovarian tissue. *Reprod Biomed Online*. 18(3):337-47.
- Álvarez L., Ducoing A.E. 2006.** Aspectos Reproductivos en el ganado caprino. UNAM, México. 26 pp.
- Amara SG, Fontana AC., 2002.** Excitatory amino acid transporters: keeping up with glutamate. *Neurochem Int*; 41: 313-8.
- Arellano-Rodríguez, G., C.A. Meza-Herrera, R. Rodríguez-Martínez, R. Dionisio-Tapia, D.M. Hallford, M. Mellado, González-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.
- Arslan M, Pohl CR, Plant TM, 1988.** DL-2-amino-5-phosphonopentanoic acid, a specific N-methyl-D-aspartic acid receptor antagonist, suppresses pulsatile LH release in rat. *Neuroendocrinology*, 47: 465-468.
- Barnes GN, Slevin JT, 2003.** Ionotropic glutamate receptor biology: Effect on synaptic connectivity and function in neurological disease. *Current Medicinal Chemistry*; 10: 2059-2072.
- Barrell GK, Moenter SM, Caraty A, Karsch FJ, 1992.** Seasonal changes of gonadotropin releasing hormone secretion in the ewe. *Biology of Reproduction*, 46: 1130-1135.
- Bittman EL, Kaynard AH, Olster DH, Robinson JE, Yellon SM, Karsch FJ, 1985.** Pineal melatonin mediates photoperiodic control of pulsatile luteinizing hormone secretion in the ewe. *Neuroendocrinology*, 40: 409-418.

- Blache D, Zhang S, Martin GB, 2006.** Dynamic and integrative aspects of the regulation of reproduction by metabolic status in male sheep. *Reprod. Nutr. Dev.* 46: 379–390.
- Boelaert K, Franklyn JA, 2005.** Thyroid hormone in health and disease. *Journal of Endocrinology* 187: 1-15.
- Bonavera JJ, Kalra SP, Kalra PS, 1993.** Evidence that luteinizing hormone suppression in response to inhibitory neuropeptides,  $\beta$ -endorphin, interleukin-1 $\beta$ , and neuropeptide-K, may involve excitatory amino acids. *Endocrinology*, 133: 178-182.
- Bourguignon JP, Gerard A, Franchimont P. 1989.** Direct activation of gonadotrophin-hormone releasing hormone secretion through different receptors to neuroexcitatory amino acids. *Neuroendocrinology*, 49: 402-408.
- Brailowsky S. 1995.** Las sustancias de los sueños: Neuropsicofarmacología. Fondo de Cultura Económica. México. 178 pp.
- Bronson FH, 1989.** Mammalian reproductive biology. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Cantú RE, Colín NM, Contreras M, García J. 1989.** Estudios sobre la estacionalidad reproductiva de los machos caprinos de las razas Saanen y Alpina. En: Memorias de la V Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Zacatecas, México. p.67.
- Celi MI. 2012.** Estudio de los mecanismos implicados en la estacionalidad reproductiva de caprinos mediterráneos: papel de los opioideos, las catecolaminas y la serotonina. (Tesis doctoral, Universidad de Huelva) Recuperado de [http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/6156/Estudio\\_mecanismos\\_implicados.pdf?sequence=2](http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/6156/Estudio_mecanismos_implicados.pdf?sequence=2)

- Chastel O, Lacroix A, Kersten M. 2003.** Pre-breeding energy requirements: thyroid hormone, metabolism and the timing of reproduction in house sparrows *Passer domesticus*. *J. Avian Biol.* 34, 298–306. (doi:10.1034/j.1600-048X.2003.02528.x).
- Cushwa WT, Bradford GE, Stabenfeldt GH, Berger YM, Rally MR. 1992.** Ram influence on ovarian and sexual activity in anestrus ewes: effects of isolation of ewes from rams before joining and date of ram introduction. *J. Anim. Sci.* 70, 1195–1200.
- Clarke IJ, Tilbrook AJ, 1992.** Influence of non-photoperiodic environmental factors on reproduction in domestic animals. *Animal Reproduction Science*, 28: 219-228.
- Conn PJ, 2003.** Physiological roles and therapeutic potential of metabotropic glutamate receptors. *Ann NY Acad Sci*, 1003: 12-21.
- Dainat J, Rebiegre A. 2009.** Correction of the biochemical effects of neonatal hypothyroidism by daily low doses of thyroxine. Comparative effects of hyperthyroidism and these corrections. *Acta Neurologica Scandinavica*. 58: 167–177.
- Daza A. 2004.** Ganado caprino: producción, alimentación y sanidad. Madrid: Agrícola Española.
- De la Isla-Herrera G, Aké-López JR, Ayala-Burgos A, González-Bulnes A. 2010.** Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 4, 167-175.
- Delange F. 1994.** The disorders induced by iodine deficiency. *Thyroid* 4:107–128.
- Delgadillo JA, Canedo GA, Chemineau P, Guillaume D, Malpoux B, 1999.** Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male Creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52: 727-737.

- Delgadillo JA, Flores JA, Véliz FG, Hernández HF, Duarte G, Vielma J, Poindron P, Chemineau P, Malpaux B. 2002.** Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *J. Anim. Sci.*, 80: 2780-2786.
- Delgadillo JA, Flores JA, Veliz FG, Duarte G, Vielma J, Poindron P, Malpaux B. 2003.** Control of reproduction in goats from subtropical México using photoperiodic treatments and the male effect. *Vet. Mex.* 34(1):69-79.
- Delgadillo JA, Cortés ME, Duarte G, Chemineau P, Malpaux B, 2004.** Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction, Nutrition and Development*, 44: 183-193.
- Dellovade TL, Zhu YS, Pfaff DW, 1999.** Thyroid hormones and estrogen affect oxytocin gene expression in hypothalamic neurons. *J Neuroendocrinol.* 11(1):1-10.
- Doufas AG, Mastorakos G. 2006.** The hypothalamic-pituitary-thyroid axis and the female reproductive system. *Annals of the New York Academy of Science*, 900, pp. 65-76.
- Duarte G. 2000.** Estacionalidad reproductiva y efecto del fotoperiodo sobre la actividad ovulatoria de las hembras caprinas de la Comarca Lagunera. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina y Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
- Ebling FJP, Wood RI, Karsch FJ, Vannerson LA, Suttie JM, Bucholtz DC, Scball RE, Foster DL, 1990.** Metabolic interfaces between growth and reproduction. 111. Central mechanisms controlling pulsatile luteinizing hormone secretio in the nutritionally growth-limited female lamb. *Endocrinology*, 126: 2719-2727.

- Escareño L, Salinas-González H, Wurzinger M, Iñiguez L, Solkner J, Meza-Herrera C. 2013.** Dairy goat production system. Status quo, perspectives and challenges. *Trop. Anim. Health Prod.* 45, 17-34.
- Estienne MJ, Schillo KK, Hileman SM, Green MA, Hayes SH, Boling JA, 1990.** Effect of N-methyl-D,L-aspartate on luteinizing hormone secretion in ovariectomized ewes in the absence and presence of estradiol. *Biology of Reproduction*, 42: 126-130.
- Estrada-Cortés E, Vera-Avila HR., Urrutia-Morales J, Villagómez-Amezcuca E, Jiménez-Severiano H, Mejía-Guadarrama CA, Gámez-Vázquez HG. 2009.** Nutritional status influences reproductive seasonality in Creole goats: 1. Ovarian activity during seasonal reproductive transitions. *Animal Reproduction Science*, 282–290.
- FAO, 2013.** FAOSTAT tomado del sitio web: [faostat.fao.org](http://faostat.fao.org).
- Fatet A, Pellicer-Rubio M, Leboeuf B. 2011.** Reproductive cycle of goats. *Animal Reproduction Science*, 124(3), 211-219.
- FIRA, 1999.** Boletín informativo. Análisis de rentabilidad y competitividad de las principales actividades ganaderas financiadas por FIRA. Banco de México. México, D.F.
- Fonnum F, 1984.** Glutamate: a neurotransmitter in the mammalian brain. *J Neurochem*; 42: 1-11.
- Forcada F, Abecia JA, Sierra I, 1992.** Seasonal changes in oestrus activity and ovulation rate in Rasa Aragonesa ewes maintained at two different body condition levels. *Small Ruminant Research*, 8: 313-324.
- García, E. 1981.** Modificaciones al sistema de Coopen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México. 253 p.



- Gay VL, Plant TM. 1982.** N-methyl-D,L-aspartate elicits gonadotropin releasing hormone release in prepubertal male rhesus monkeys (*Macaca mulata*). *Endocrinology*, 120: 2289-2296.
- Gayrard V, Malpoux B, Tillet Y, Thiéry JC. 1994.** Estradiol increases tyroxine hydroxylase activity of the A15 nucleus dopaminergic neurons during long days in the ewe. *Biology of Reproduction*, 50: 1168-1177.
- Gazal OS, Kouakou B, Amoah EA, Barb CR, Barrett JB, Gelaye S. 2002.** Effects of N-methyl-D,L-aspartate on LH, GH, and testosterone secretion in goat bucks maintained under long or short photoperiods. *Journal of Animal Science*, 80: 1623-1628.
- Gill JL, Hafs HD. 1971.** Analysis of repeated measurements of animals *J. Anim. Sci.*, 33: 331-336.
- Goodman RL, Bittman EL, Foster DL, Karsch FJ. 1981.** The endocrine basis of the synergistic suppression of luteinizing hormone by estradiol and progesterone. *Endocrinology*, 109: 1414-1417.
- Goodman RL, Bittman EL, Foster DL, Karsch FJ. 1982.** Alterations in the control of luteinizing hormone pulse frequency underlie the seasonal variation in estradiol negative feedback in the ewe. *Biology of Reproduction*, 27: 580-589.
- Gómez-Brunet A, Santiago-Moreno J, Micheo J, Sánchez A, González-Bulnes A, López-Sebastián A. 2003.** Variación anual de la actividad ovulatoria en la cabra de raza Malagueña. *Producción Ovina y Caprina*. SEOC, 28: 178-180.
- Gómez-Brunet A, Santiago-Moreno J, Toledano-Diaz A, Lopez-Sebastian A. 2010.** Evidence that refractoriness to long and short daylengths regulates seasonal reproductive transitions in Mediterranean. *Reprod. Dom. Anim.*, 45, 338-343

- González-Bulnes A, Meza-Herrera CA, Rekik M, Ben Salem H, Kridli RT. 2011.** Limiting Factors and Strategies for Improve Reproductive Outputs of Small Ruminants Reared in Semiarid Environments. In: Semi-Arid Environments Agriculture, Water Supply and Vegetation. Degenovine K.N. (ed.) Nova Science Publishers, Inc. USA. Chapter II, 22pp.
- Greives JT, Kriegsfeld JL, Bentley EG, Tsutsui K, Demas EG. 2008.** Recent advances in reproductive neuroendocrinology: a role for RFamide peptides in seasonal reproduction?. Proc. R. Soc. B., 275, 1943–1951.
- Greyling JPC. 1988.** Reproductive physiology in the Boer goat doe. Ph.D. Thesis, University of Stellenbosch, South Africa.
- Guerrero CM. 2010.** La Caprinocultura en México, una Estrategia de Desarrollo. RUDICS. Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales, 1: 1-8.
- Gunn RG, Doney JM. 1975.** The interaction of nutrition and body condition at mating on ovulation rate and early embryo mortality in Scottish Blackface ewes. J Agric Sci Camb 85: 465–470.
- Gunn RG. 1983.** Sheep production. En: Haresign W (ed). Proceedings of the 35th Easter School in Agricultural Science. University of Nottingham, London, Butterworths, pp. 99-110.
- Hafez ESE. 1952.** Studies on breeding season and reproduction of the ewe. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 42: 182-265.
- Hashimoto K. 2009.** Emerging role of glutamate in the pathophysiology of major depressive disorder. Brain Research Reviews; 61: 105-123.
- Havern RL, Whisnant CS, Goodman RL. 1994.** Dopaminergic structures in the ovine hypothalamus mediating estradiol negative feedback in anestrus ewes. Endocrinology, 134: 1905-1914.
- Henniawati H, Fletcher IC. 1986.** Reproduction in Indonesian sheep and goats at two levels of nutrition. Animal Reproduction Science, 12: 77-84.

- Hollmann M, Heinemann S. 1994.** Cloned glutamate receptors. *Annu Rev Neurosci*, 17:31-108.
- Karsch FJ, Goodman RL, Legan SJ, 1980.** Feedback basis of seasonal breeding: test of a hypothesis. *Journal of Reproduction and Fertility*, 58: 521-535.
- Karsch FJ, Bittman EL, Foster DL, Goodman RL, Legan SJ, Robinson JE, 1984.** Neuroendocrine basis of seasonal reproduction. *Recent Progress in Hormone Research*, 40: 185-232.
- Karsch FJ, Dahl GE, Hachigian TM, Thrun LA. 1995.** Involvement of thyroid hormones in seasonal reproduction. *J Reprod Fertil Suppl*, 49: 409–422.
- Khvotchev M, Kavalali ET. 2008.** Pharmacology of neurotransmitter release: measuring exocytosis. *Handb Exp Pharmacol*. 184:23-43.
- Knight TW, Hall DRH, Wilson LD, 1983.** Effects of teasing and nutrition on the duration of the breeding season in Romney ewes. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*, 43: 17-19.
- Legan SJ, Karsch FJ, Foster DL. 1977.** The endocrine control of seasonal reproductive function in the ewe: a marked change in response to the negative feedback action of estradiol on luteinizing hormone secretion. *Endocrinology*, 101: 818-824.
- Lehman MN, Durham DM, Jansen HT, Adrian B, Goodman RL. 1996.** Dopaminergic A14/A15 neurons are activated during estradiol negative feedback in anestrus, but not breeding season, ewes. *Endocrinology*, 137: 4443-4450.
- Leone J. 2011.** La Otra Cara Del Glutamato: ¿Qué ocurre entre las neuronas y los astrocitos? Departamento de Ciencia y Tecnología.
- Lincoln GA, Wu FCW. 1991.** Luteinizing hormone responses to N-methyl-D,L-aspartate during a photoperiodically-induced reproductive cycle in the ram. *Journal of Neuroendocrinology* 3, 309-317.

- Lindsay DR. 1996.** Environment and reproductive behaviour. *Animal Reproduction Science*, 42: 1-12.
- Litell CR, Freund JR, Phillip C. 1991.** SAS® System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 329 pp.
- Malpaux B, Viguié C, Skinner DC, Thiéry JC, Pelletier J, Chemineau P. 1996.** Seasonal breeding in sheep: Mechanism of action of melatonin. *Animal Reproduction Science*, 42: 109-117.
- Mani AU, McKelvey WAC, Watson ED. 1992.** The effects of low level of feeding on response to synchronization of estrus, ovulation rate and embryo loss in goats. *Theriogenology*, 38: 1013-1022.
- McDonald MC, Wilkinson M. 1991.** Characterization and ontogenesis N-methyl-D,L-aspartate-evoked luteinizing hormone secretion in immature female rats. *Journal of Endocrinology*, 4: 223-229.
- Mcneilly AS, Jonassen JA, Rhind SM. 1987.** Reduced ovarian follicular development as a consequence of low body condition in ewes. *Acta Endocrinol (Copenh)* 115: 75–83.
- Mellado M, Hernández JR. 1996.** Ability of androgenized goat wethers and does to induce estrus in goats under extensive conditions during anestrus and breeding seasons. *Small Rumin Res.* 2: 37-42.
- Meza-Herrera CA, González-Bulnes A, Kridli RT, Mellado M, Arechiga-Flores CF, Salinas H, Luginbuhl JM. 2010.** Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. *Reproduction in Domestic Animals.* 45(6):e495-e502.
- Meza-Herrera CA, Hernández-Valenzuela LC, González-Bulnes A, Tena-Sempere M, Abad-Zavaleta J, Salinas-González H, Mellado M, Véliz-Deras FG. 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 CA, Torres-Moreno M, López-Medrano JI, González-Bulnes A, Véliz FG, Mellado M, Wurzinger M, Soto-Sánchez MJ, Calderón-Leyva MG. 2011b.** Glutamate supply positively affects serum release of triiodothyronine and insulin across time without increases of glucose during the onset of puberty in the female goat. *Animal Reproduction Science*. 125(1-4):74-80.
- Meza-Herrera CA, Tena-Sempere M. 2012.** Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: *Animal Reproduction in Livestock*. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>]
- Meza-Herrera CA, Vargas-Beltrán F, Tena-Sempere M, González-Bulnes A, Macías-Cruz U, Véliz-Deras FG. 2013a.** 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 CA, Vargas-Beltrán F, Vergara-Hernández H, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Rodríguez-Martínez R, Arellano-Rodríguez G, Véliz-Deras FG. 2013b.** Betacarotene supplementation increases ovulation rate without an increment in LH secretion in cyclic goats. *Reproductive Biology*. 13(3):51-57.
- Meza-Herrera CA, González-Velázquez A, Véliz-Deras FG, Rodríguez-Martínez R, Arellano-Rodríguez G, Serradilla JM, García-Martínez A, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U. 2014a.** Short-term glutamate administration positively affects the number of antral follicles and the ovulation rate in cycling adult goats. *Reprod. Biol.* 13(4), 298-301.
- Meza-Herrera CA, Serradilla JM, Muñoz-Mejias ME, Baena-Manzano F, Menendez-Buxadera A. 2014b.** Effect of breed and some environmental

factors on body weights till weaning and litter size in five goat breeds in Mexico. *Small Ruminant Research*. 121(2-3):215-219.

**Meza-Herrera CA, Calderón-Leyva G, Soto-Sánchez MJ, Serradilla JM, García-Martínez A, Mellado M, Véliz-Deras FG. 2014b.** Glutamate supply positively affects cholesterol concentrations without increases in total protein and urea around the onset of puberty in goats. *Anim. Reprod. Sci.* 147(3-4), 106-111.

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

**Meza-Herrera CA, Reyes-Ávila JM, Tena-Sempere M, Véliz-Deras FG, Macías-Cruz U, Rodríguez-Martínez R, Arellano-Rodríguez G. 2014d.** Long-term betacarotene supplementation positively affects serum triiodothyronine concentrations around puberty onset in female goats. *Small Ruminant Research*. 116(2-3):176-182.

**Morgan PJ, Hazlerigg DG. 2008.** Photoperiodic signalling through the melatonin receptor turns full circle. *J Neuroendocrinol.* 20(6):820-6.

**NRC, 1981.** Effect of environment on nutrients requirements of domestic animals. National Research Council. National Academic Press, Washintong, D, C. 152 pp.

**Ocak S, Darcon N, Ankaya S, Cinal T. 2009.** Physiological and biochemical responses in German fawn kids subjected to cooling treatment under Mediterranean climate conditions. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 33: 455-61

**Ottersen OP, Storm-Mathisen J. 1984.** Neurons containing or accumulating transmitter amino acids. In Bjorkklund A, Hokfelt T, Kuhar MJ, eds. *Handbook of chemical neuroanatomy*. Amsterdam: Elsevier; p. 141-246.

- Ozawa S, Kamiya H, Tsuzuki K. 1998.** Glutamate receptors in the mammalian central nervous system. *Prog Neurobiol.* 54:581-618.
- Prandi A, Romagnoli G, Chiesa F, Tamanini C. 1987.** Plasma prolactin variations and onset of ovarian activity in lactating anestrus goats given melatonin. *Animal Reproduction Science*, 13: 291-297.
- Prandi A, Motta M, Chiesa F, Tamanini C. 1988.** Circannual rhythm of plasma prolactin concentration in the goat. *Animal Reproduction Science*, 17: 85-94.
- Richards MW, Wettemann RP, Schoenemann HM. 1989.** Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum and ovarian activity. *Journal of Animal Science*, 67: 1520-1526.
- Rhind SM, 1992.** Nutrition: its effects on endocrine profiles and reproductive performance in female sheep and goats. En: Speedy A (ed), *Progress in sheep and goat research*. CAB International, Oxford, pp. 25-51.
- Rhind SM, McNeilly AS. 1998.** Effects of level of food intake on ovarian follicle number, size and steroidogenic capacity in the ewe. *Animal Reproduction Science*, 52: 131-138.
- Robinson JJ. 1981.** Photoperiodic and nutritional influences on the reproductive performance of ewes in accelerated lambing systems. *Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, Vol. III-2. Zagreb, 31 August, 3rd September, pp. 1-10.
- Robinson JJ. 1996.** Nutrition and reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 42: 25-34.
- Rodríguez A, López Colomé AM. 1997.** Características farmacológicas de las subunidades de los receptores de glutamato del tipo N-metil-D-aspartato (NMDA). *Salud Ment.* 20:39-47.
- Rojas RO, Rodríguez RO. 1997.** Tasa ovulatoria y presencia de folículos después del estro en ovejas Blackbelly. *Téc Pecu Méx* 35: 32-38.

- Rondina D, Freitas VJF, Spinaci M, Galeati G, 2005.** Effect of nutrition on plasma progesterone levels, metabolic parameters and small follicles development in unstimulated goats reared under constant photoperiod regimen. *Reproduction in Domestic Animals*, 40: 548-552.
- Saitoh Y, Silverman AJ, Gibson MJ, 1991.** Norepinephrine neurons in mouse locus coeruleus express c-fos protein after N-methyl- D,L-aspartic acid (NMDA) treatment: relation to LH release. *Brain Research*, 561: 11-19.
- Saenz-Escarcega P, Hoyos G, Salinas H, Martínez M, Espinoza JJ, Guerrero A, Contreras E. 1991.** Establecimiento de módulos caprinos con productores cooperantes en la Comarca Lagunera. *INIFAP, Méx*, 1991:124-34.
- Santa María A, Cox J, Muñoz E, Rodríguez R, Caldera L. 1990.** Estudio del ciclo sexual, estacionalidad reproductiva y control del estro en la cabra Criolla en Chile. *Livestock Reproduction in Latin America*. En: *Proceedings of the final research co-ordination meeting*, Bogotá, 19-23 September 1988, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 363-385.
- Santillano, F.J. 2009.** Aminoácidos excitadores, folículos antrales y hormona del crecimiento en cabras bajo fotoperiodos decrecientes. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 68pp.
- Scaramuzzi RJ, Campbell BK, Downing JA, Kendall NR, Khalid M, Muñoz-Gutiérrez M, Somchit A. 2006.** A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction, Nutrition and Development*, 46: 339-354.
- Santos V, De los S 1973.** Climatología general de la Región Lagunera. *Boletín Agrícola Lagunero*. 1973. SARH. México.



- Shigeri Y, Seal RP, Shimamoto K. 2004.** Molecular pharmacology of glutamate transporters, EAATs and VGLUTs. *Brain Res Rev*; 45: 250-65.
- Smith JF. 1991.** A review of recent developments on the effect nutrition on ovulation rate. *Proceedings New Zealand Society of Animal Production*, 51: 15-23.
- Tata JR. 2007.** A hormone for all seasons. *Perspect. Biol. Med. Winter*; 50: 89-103.
- Terasawa E, Fernandez DL. 2001.** Neurobiological Mechanisms of the Onset of Puberty in Primates. *Endocrine Rev* 22: 111-151.
- Tinajero K, 2008.** L-Glutamato y activación del eje Hipotalámico-Hipofisiario-Gonadal en cabras. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 55pp.
- Tovar J. 2007.** Neurotransmisor. Página web consultada el día 30 de Octubre de 2015, disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/neurobioquimica/neurotrasmision.htm>
- Urrutia-Morales J, Meza-Herrera CA, Escobar-Medina FJ, Gamez-Vazquez HG, Ramirez-Andrade BM, Diaz-Gomez MO, Gonzalez-Bulnes A. 2009.** Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reprod. Biol.* 9, 283–294.
- Urrutia-Morales J, Meza-Herrera CA, Tello-Varela L, Díaz-Gómez MO, Beltrán-López S. 2012.** Effect of nutritional supplementation upon pregnancy rates of goats under semiarid rangelands and exposed to the male effect. *Tropical Animal Health & Production*, 44:1473–1477.
- Vergara-Hernández HP. 2014.** Suplementación de glutamato y función reproductiva en cabras primaras durante el período de transición al anestro estacional. Tesis Maestría Internacional. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo,

Durango, México y Universidad de Córdoba, Instituto de Estudios de Posgrado, Córdoba, España. 86 p.

**Viguié C, Caraty A, Locatelli A, Malpoux B, 1995.** Regulation of luteinizing hormone-releasing hormone (LHRH) secretion by melatonin in the ewe. II. Changes in N-methyl-D,L-aspartic acid-induced LHRH release during the stimulation of luteinizing hormone secretion by melatonin. *Biology of Reproduction*, 52: 1156-1161.

**Walkden-Brown SW, Restall BJ, Norton BW, Scaramuzzi RJ, Martin GB. 1994a.** Effect of nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odour in Australian cashmere goats. *Journal of Reproduction and Fertility*, 102: 351-360.

**Walkden-Brown SW, Restall BJ, Norton BW, Scaramuzzi RJ. 1994b.** The 'female effect' in Australian cashmere goats: effect of season and quality of diet on the LH and testosterone response of bucks to oestrous does. *Journal of Reproduction and Fertility*, 100: 521-531.

**Walton JS, McNeilly JR, McNeilly AS, Cunningham FJ. 1977.** Changes in concentrations of follicle stimulating hormone, luteinizing hormone, prolactin and progesterone in the plasma of ewes during the transition from anestrus to breeding activity. *Journal of Endocrinology*, 75: 127-136.

**Yoshimura T, Yasuo S, Watanabe M, Iigo M, Yamamura T, Hirunagi K & Ebihara S. 2003.** Light-induced hormone conversion of T4 to T3 regulates photoperiodic response of gonads in birds. *Nature*. 426, 178-181.

**Zhao X, Pfaff DW, Vasudevan N. 2006.** Estrogens and Thyroid Hormones: Non-Genomic Effects are Coupled to Transcription. *Immunology, Endocrine & Metabolic Agents - Medicinal Chemistry* 6(3): 267-280.

**Zarazaga LA, Guzmán JL, Domínguez MC, Pérez MC, Prieto R. 2005.** Effect of plane of nutrition on seasonality of reproduction in Spanish Payoya goats. *Animal Reproduction Science*, 87: 253-267.

**Zarazaga LA, Gatica MC, Celi I, Guzmán JL, Malpaux B. 2009a.** Effect of melatonin implants on sexual activity in Mediterranean goat females without separation from males. *Theriogenology*, 72: 910-918.

**Zarazaga LA, Gatica MC, Celi I, Guzmán JL, Malpaux B. 2009b.** Utilización de fotoperiodo y melatonina en el control de la reproducción en la especie caprina. *Proceedings XVIII Congresso de Zootecnia. II Congreso Iberoamericano de Zootecnia*, 6 a 9 de Maio de 2009, Utad, Vila Real, Portugal. ISBN: 978-989-96219-1-6.