

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**EFFECTO DE USO DE B-CAROTENO COMO COMPLEMENTO  
ALIMENTICIO SOBRE LA ACTIVIDAD OVÁRICA Y LOS  
NIVELES DE PROGESTERONA EN CABRAS  
EN LA COMARCA LAGUNERA**

**POR:**

**JESÚS QUEZADA GURROLA**

**TESIS**

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

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

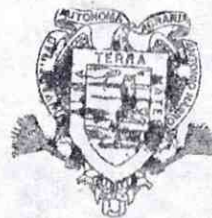
**División Regional de Ciencia Animal**

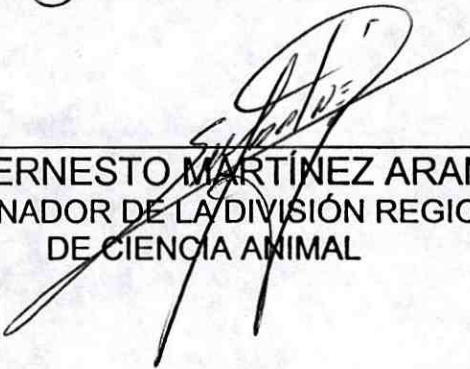
TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H.  
JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

APROBADO POR:

  
DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
PRESIDENTE DEL JURADO




  
M.V.Z. ERNESTO MARTÍNEZ ARANDA  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL  
DE CIENCIA ANIMAL

Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal  
UAAAN - UL

TESIS QUE SE PRESENTA A CONSIDERACION DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE :

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESIDENTE DEL JURADO

  
DR. RAFAEL RODRIGUEZ MARTINEZ

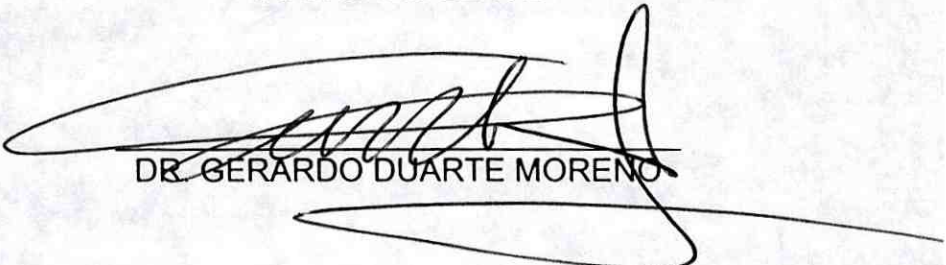
~~VOCAL~~

~~MC. GERARDO ARELLANO RODRIGUEZ~~

~~VOCAL~~

~~M.V.Z. MA. DE LOS ANGELES DE SANTIAGO MIRAMONTES~~

VOCAL SUPLENTE

  
DR. GERARDO DUARTE MORENO

## DEDICATORIA

A MIS PADRES:

SR. JAIME QUEZADA CASTAÑEDA  
SRA. FRANCISCA GURROLA QUIÑÓNEZ

Este trabajo les dedico todo mi esfuerzo con mucho cariño y amor, a quienes con trabajo, esfuerzo, sacrificio, dedicación, respeto, amor y esperanza, pusieron la confianza en mi para que lograra ser un Medico Veterinario Zootecnista. Les agradezco por todos sus consejos y por guiarme por buen camino en la vida que han hecho una persona para servir a la comunidad, por todo esto les dedico mi tesis.

A MIS ABUELOS:

SR. DIEGO GURROLA (†)  
SRA. ISABEL QUIÑÓNEZ  
SRA. CELIA CASTAÑEDA

Por todo el cariño que me dieron y por su ejemplo que me dieron para ser una persona justa, honrrada y amable, por todas sus palabras de sabiduría y por todo el amor que siempre encontré en ellos.

A MIS HERMANOS:

JAIME, ROSALBA, LOURDES, MIGUEL, JORGE.

En especial a JAIME QUEZADA GURROLA, por todo su apoyo, su cariño y por ser una persona especial para mi. Con cariño para todos ellos por su apoyo moral y económico, para lograr hacer de mi una persona profesional con cariño, muchas gracias.

A MIS SOBRINOS:

VIRIDIANA, LUCIA, ANGEL, JOSELINE, JISLEY, DIEGO,  
RUBEN, VANESA, CLARISA.

Para ser un ejemplo para ellos y que tengan todo mi apoyo y cariño.

A MIS CUÑADOS (A):

JOSE ANGEL, RUBEN, EME, CANDELARIA.

Por su apoyo moral y económicamente.

## AGRADECIMIENTOS

### A DIOS:

Por haberme dado la dicha de nacer y guiarme por el buen camino con su mano por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas por siempre escuchar mis rezos, para compartir los momentos buenos y malos, por concederme la sabiduría para aceptar las cosas como son, y darme el valor para salir delante de los problemas que se me presenten en el difícil camino de la vida.

### AL DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTINEZ :

Agradezco a usted por todo lo que me enseñó por compartir conmigo sus conocimientos por todo su apoyo brindado para poder lograr este trabajo de tesis.

### A MIS PROFESORES:

Agradezco todo el empeño que pusieron con todas sus clases y prácticas por compartir sus enseñanzas y convivir conmigo por todos sus consejos y por que siempre conté con ustedes por todo el respeto que me dieron.

### A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE CLASE:

A todos mis compañeros de clases de la sección "D", por aceptarme como soy, por compartir y respetar mis opiniones, por ayudarme en los momentos difíciles, porque siempre encontré apoyo en todos ellos, por su amistad, en especial, Héctor, Pablo, Pepe, Subteniente Lerma, Morales, Lizeth Adriana, Bety, Fabi, Sandra, Minerva y al M.V.Z. Fredy Hernández, M.V.Z. Mario Ezequiel.

### A LA FAMILIA RIVERA MINOR:

Sr. Memo, Sra Margarita, Memillo, Eric, Liz, Sara, Claudia, Lucy  
Por sus consejos y su apoyo, porque siempre conté con ellos, por el respeto con el que me trataron y por considerarme un miembro más de esa familia.

### A MI "ALMA TERRA MATER" UAAAN-UL:

Con respeto y admiración por todo lo que aprendí en sus instalaciones, por enseñarme a respetarla y por todo lo que me dio en el trayecto de mi vida estudiantil, por hacerme un profesionalista y una persona respetable.

### A TODAS LAS PERSONAS:

A todas las personas que de alguna manera siempre me apoyaron con sus consejos, económicamente y espiritualmente para lograr lo que soy muchas gracias, a la Sra Carmen Castro y Sra. Ester Peña muchas gracias.

# 1 Índice

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | ÍNDICE .....   | 1  |
| 2   | RESUMEN .....  | 2  |
| 3   | INTRODUCCIÓN .....   | 3  |
| 3.1 | LAS CABRAS Y SU CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN A LAS ZONAS ÁRIDAS ..... | 4  |
| 3.2 | EL DESIERTO CHIHUAHUENSE.....                                    | 10 |
| 3.3 | LA COMARCA LAGUNERA COMO PARTE DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE .....   | 12 |
| 3.4 | EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y LA GANADERÍA.....                    | 16 |
| 3.5 | LOS EFECTOS DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE LA REPRODUCCIÓN .....      | 17 |
| 3.6 | LOS ANTIOXIDANTES Y EL ESTRÉS CALÓRICO.....                      | 21 |
| 3.7 | LOS ANTIOXIDANTES Y LA REPRODUCCIÓN .....                        | 24 |
| 3.8 | EL B-CAROTENO Y LA REPRODUCCIÓN.....                             | 26 |
| 4   | MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 30 |
| 5   | RESULTADOS .....   | 32 |
| 6   | DISCUSIÓN .....  | 34 |
| 7   | LITERATURA CITADA .....  | 36 |



## 2 Resumen

Se evaluó el efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la producción total de folículos (TF), la producción total de cuerpos lúteos (CLT) y la actividad ovárica total (AOT), así como sobre los niveles séricos de progesterona (P4) en cabras de la Comarca Lagunera. Las cabras fueron distribuidas en dos grupos experimentales,  $\beta$ -caroteno (BETA) y control (CONT). Las cabras tuvieron libre acceso a agua, sales minerales, sombra y su alimentación consistió en heno de alfalfa (14% PC; 1.14MCal/Kg Enm), y ensilado de maíz (8.1% PC; 1.62 MCal/Kg Enm). Se realizó la sincronización de los celos de todas las cabras por medio de esponjas vaginales de acetato de fluorogestona con una aplicación posterior de cloprostenol, producto sintético análogo de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , a razón de 0.075 mg por cabra. El tratamiento BETA consistió en una suplementación oral de 200 mg diarios de  $\beta$ -caroteno por cabra durante todo el período experimental. El día 8 post-estro se realizó un muestreo de sangre a las cabras de ambos grupos experimentales mediante punción yugular para la obtención de suero, al cual se le determinaron los niveles séricos de progesterona (P4) mediante RIA. El día 18 post-ovulación, mediante ultrasonografía transrectal, fueron determinados TF, CLT y AOT. Los datos del experimento se analizaron mediante mínimos cuadrados de varianza, mediante el procedimiento Modelo General Linear (GLM), incluyéndose en el modelo matemático los efectos principales de ambos tratamientos (BETA y CONT) sobre la producción de folículos totales, los cuerpos lúteos totales, la actividad ovárica total y los niveles séricos de P4. Las cabras suplementadas con  $\beta$ -caroteno tuvieron una mayor producción de folículos totales ( $P < 0.08$ ) que las cabras no suplementadas (4.9 vs 3.5 respectivamente), y una mayor actividad ovárica total ( $P < 0.08$ ) respecto a las cabras del grupo control (8.1 vs 6.3 respectivamente), aunque la producción de cuerpos lúteos no fue diferente ( $P < 0.16$ ) entre los grupos (3.4 para el grupo BETA y 2.8 para el grupo CONT), los niveles séricos de P4 fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en el grupo BETA (5.5 ng/mL) que en el grupo CONT (4.5 ng/mL). Estos datos sugieren que es necesario continuar investigando sobre el efecto de la administración de  $\beta$ -caroteno sobre los indicadores reproductivos de los animales domésticos.

### 3 Introducción

Las cabras que en la actualidad se encuentran en América Latina, de donde este ganado no es nativo, tienen su origen principalmente de las cabras de Europa occidental, introducidas de España y Portugal, durante y después del período de colonización (Nozawa, 1991).

Las explotaciones caprinas tienen especial importancia en las vastas zonas áridas y semiáridas del país y constituyen un factor determinante en la economía de la numerosa población rural que habita estas zonas, ya que el valor de su producción representa frecuentemente el renglón más importante de su ingreso. Además, los rebaños les proporcionan carne y leche para su alimentación y subproductos, como pelo y pieles, que tienen gran demanda en el mercado (Saucedo, 1984).

Aunque se han citado 116 razas de cabras económicamente importantes y que han sido adecuada y recientemente descritas (Mason, 1991), las cinco razas más abundantes y conocidas en México y por lo tanto en la Región Lagunera, tienen su origen en Europa: la Saanen y la Toggenburg de Suiza, la Alpino Francesa, la Granadina de España, y la Anglo-Nubia de Inglaterra, aunque existe de esta última, la raza mejorada en E.U.A.

Aunque las razas españolas fueron las primeras en introducirse en México por los conquistadores, constituyéndose al dispersarse por el territorio nacional en lo que hoy se conoce como ganado criollo, a principios del siglo XX se comienza a dar la importación de animales de Europa y Estados Unidos, como consecuencia de la observación de el pequeño tamaño de la cabra criolla y su baja productividad en leche y carne, con respecto a otras razas, con lo que se pretende corregir tales deficiencias. En 1906 y 1908 se trajeron razas Murcianas a Querétaro, en 1930 Granadinas, y por ese tiempo se comenzó la importación de cabras suizas, como la Saanen y Toggenburg, de Estados Unidos (Arbiza, 1986).

En Tlahualilo, Durango, se estableció a partir de 1967, un rebaño de cabras que incluía cabras locales mexicanas, conocidas como "criollas", reunidas en varias partes del



país, especialmente en los estados del centro y del norte. Estos animales de acuerdo a sus tipos predominantes o a su apariencia externa, fueron cruza de Granadina y Nubia. Se estableció un rebaño de granadinas, apareando machos y hembras tipo granadino, ambos a partir de las poblaciones locales. A partir de este rebaño, las hembras granadinas fueron utilizadas para retrocruza con las poblaciones locales, por lo tanto este rebaño es una sub población de las poblaciones locales de cabras mexicanas (Montaldo *et al.*, 1995).

Con el fin de hacer un uso racional de los recursos genéticos para incrementar la eficiencia de los sistemas productivos de las cabras, es necesario investigar las consecuencias de mejorar las poblaciones locales con las razas utilizadas más comúnmente (Montaldo *et al.*, 1995).

La Comarca Lagunera se considera como una importante región ganadera, sobresaliendo por el número de caprinos que en ella se tienen registrados. Con una extensión territorial de 54,789.27 km<sup>2</sup>, lo que representa el 2.8% de la superficie nacional, las 396,987 cabezas de caprinos que en ella se contabilizan representan el 4.4% del total nacional. Por otra parte, con una densidad de cabras de 7.25 animales por km<sup>2</sup> la Comarca Lagunera está muy por encima de la media nacional (4.5/km<sup>2</sup>), lo que denota su relevancia en la ganadería caprina.

### **3.1 Las cabras y su capacidad de adaptación a las zonas áridas**

La mayoría de las cabras del mundo viven en países en vías de desarrollo dentro de los 30° y el ecuador, donde frecuentemente registran bajos pesos al nacimiento, asociados con una alta mortalidad perinatal (Holmes *et al.*, 1986).

Una consideración fundamental en favor de las cabras es su pequeño tamaño, valioso dentro de los sistemas de granjas pequeñas. Los pequeños granjeros orientan sus cultivos esencialmente para la subsistencia, con ingresos muy cercanos a la pobreza. Ellos pueden poseer bovinos (no más de uno o dos), pero la mayoría son propietarios de cabras u ovejas (El Aich y Waterhouse, 1999).

La cabra es uno de los animales domésticos más importantes. En 1996, por su tamaño el sector de las ovejas constituía el segundo lugar mundial de ganado, siendo

superado únicamente por el ganado vacuno, mientras que las cabras ocuparon el cuarto lugar, apenas después de los cerdos (Morand-Fher y Boyazoglu, 1999). Las ovejas y cabras utilizan alimentos a partir de una amplia variedad de plantas (arbustos y árboles), y pastan sin esfuerzo sobre residuos de cultivos, desechos de alimento y subproductos agrícolas (Sinn *et al.*, 1999) contribuyendo a la diversificación de la economía porque utilizan una variedad de recursos marginales que transforman en muchos productos (carne, leche, lana, piel y estiércol). Su baja demanda de trabajo y capital, en comparación con los bovinos, asegura que los pequeños rumiantes contribuyen más a la diversificación de la economía que otras empresas ganaderas (El Aich y Waterhouse, 1999). Además, la cabra es una especie doméstica conveniente para la investigación biológica actual y sus aplicaciones, debido a sus diversificados productos de valor comercial y su período de gestación relativamente corto 5 meses vs 9 meses en la vaca (Amoah y Gelaye, 1997).

La producción de las cabras se ha vuelto una alternativa atractiva para los granjeros de recursos limitados tanto en el sur de los Estados Unidos como en los países en desarrollo, reconociéndose a la cabra como una importante fuente de alimentos porque puede, como otros rumiantes, convertir eficazmente alimentos de baja calidad a leche (Amoah y Gelaye, 1997), por lo que las cabras proporcionan como ventaja a los granjeros un ingreso extra con un riesgo bajo. Los grandes rumiantes requieren más trabajo, más alimento y más cuidados de parte del propietario. Las cabras son criadas invariablemente por las mujeres y los niños y requieren sólo de recursos limitados. Durante los períodos de escasez de alimento, es menos difícil manejar pocos animales y de tamaño reducido - como las cabras (Devendra, 1980).

La capacidad para adaptarse exitosamente a cualquier medio ambiente particular está, en su momento determinado por la extensión en la cual las cabras son hábiles para desarrollar mecanismos apropiados para hacer frente a las diferentes fuerzas medio ambientales (Devendra, 1987), reconociéndoseles como uno de sus principales méritos, su adaptación a un amplio espectro de condiciones climáticas (Devendra, 1987; Gall, 1991), además de representar una importante fuente proteica en los trópicos y un recurso ganadero alternativo en los climas templados (Nozawa, 1991).



Se reconoce que la cabra es uno de los rumiantes domésticos más exitosos, ya que posee las adaptaciones fisiológicas que se requieren para sobrevivir, tales como la habilidad para soportar la alta temperatura del aire y la alta radiación solar, combinadas con la baja cantidad de agua y comida disponible (Gall, 1991; Johnson, 1987), y su habilidad para la existencia migratoria, con capacidad para pastar lejos de los puntos de aguaje, cuando se encuentran muy separados entre sí (Abdelatif y Amhed, 1994; Maltz y Shkolnik, 1980).

En áreas de condiciones medio ambientales adversas, inadecuadas para la crianza de bovinos, las cabras han apoyado efectivamente la subsistencia humana desde los inicios de la domesticación. Las áreas donde las cabras no pueden ser criadas son la tundra ártica y el bosque subártico siempre verde, donde los renos reemplazan a las cabras, y en los desiertos, donde sólo los camellos pueden ser utilizados como animales domésticos (Nozawa, 1991). Por otra parte la cabra es el animal más fértil de todos los rumiantes domésticos, bajo condiciones tropicales y subtropicales y los criadores son capaces de producir durante todo el año (Greyling, 2000).

En los ecosistemas áridos, la temporada de sequía es probablemente un tiempo especial de reto para los animales en su búsqueda adecuada de los recursos de alimento y agua (Nagy, 1994), ya que ocurren grandes fluctuaciones en la disponibilidad de estos recursos, debido a que fuertes lluvias estacionales a intervalos impredecibles son seguidos por un desarrollo de pastura, la cual puede durar un par de meses.

La vegetación entonces está disponible sólo en aguajes ampliamente espaciados (Maltz *et al.*, 1982).

Se ha señalado que las cabras tienen, respecto a las ovejas, una mayor habilidad para soportar el estrés por pastoreo bajo condiciones de desierto, lo que les permite pastar a 6 km de distancia de los sitios de aguaje en condiciones de temperaturas medio ambientales superiores a los 44°C (Khan y Gosh, 1989).

La más baja tasa de retorno hídrico en las cabras que en las ovejas, sugiere que las cabras están mejor adaptadas para sobrevivir que las ovejas bajo condiciones malas y de

sequía (Aganga, 1992) y que para propósitos de termorregulación, las cabras usan más agua que los canguros pero menos que las ovejas (Khan *et al.*, 1978).

Al parecer, las cabras negras del desierto tienen un mecanismo en la superficie del pelo para protegerse de daño contra una inusual carga calórica del cuerpo a partir de la superficie externa. Esta eficiencia termolítica puede ser debida a la capacidad de los animales para nuevamente radiar la mayoría de la radiación calórica absorbida, en forma de radiación de onda larga al pelaje o cerca de él (Goyal y Ghosh, 1987). Algunos rasgos de las estructuras anatómicas externas como el tipo de piel, podrían introducirse por transferencia genética y aumentar la resistencia a enfermedades locales y elevar la capacidad de supervivencia en condiciones extremas del medio ambiente (Amoah *et al.*, 1996).

Debido a su prolificidad y rusticidad, las cabras producen altos ingresos los que la hace una de las mejores inversiones. Usualmente son la única alternativa para poblaciones que viven en áreas marginales, en donde ayudan a prevenir la desertificación por la actividad humana (El Aich y Waterhouse, 1999). Aún hoy, los criadores de ovejas y cabras están a menudo situados a un nivel relativamente bajo de la jerarquía social de una villa o región. En muchos países están entre aquellos que no se benefician de los programas estatales de ayuda y de los servicios de desarrollo (Morand-Fher y Boyazoglu, 1999). Además, en ambientes desérticos y tropicales, donde los recursos alimentarios están restringidos en cantidad y calidad, las diferencias entre los rumiantes respecto a sus requerimientos de energía y eficiencia digestiva, los cuales se reflejan en la eficiencia del uso de energía neta para la producción, son criterios muy importantes para la selección del tipo de animal más apropiado para crecer en circunstancias particulares (Silanikove, 2000) y en las zonas áridas, las cabras son relativamente más numerosas que los bovinos y frecuentemente más numerosas que las ovejas; por otra parte, los bovinos son más numerosos que las ovejas y las cabras en las zonas semiáridas, subhúmedas húmedas y de montañas (Silanikove, 2000).

Los productos de la ganadería caprina son importantes. La producción de leche de pequeños rumiantes, representa alrededor del 3.5% del total de la producción mundial, siendo la proporción substancialmente mayor en los países en desarrollo (7.5%) que en los



países desarrollados (1.5%). A pesar de su relativamente poco impacto, esta producción juega un papel esencial en ciertos ambientes difíciles, debido a que a menudo representa una fuente importante de proteína de alta calidad (Morand-Fher y Boyazoglu, 1999). Sin embargo, existen factores que afectan la capacidad reproductiva del ganado, entre ellos destaca el estrés calórico, aceptándose comúnmente para el término estrés, la acepción que los ganaderos utilizan para indicar una condición medio ambiental que es adversa al bienestar del animal medido en términos de rendimiento productivo (Johnson, 1987; Stott, 1981).

Sin embargo existe una gran cantidad de estudios que determinan cómo el efecto de las condiciones térmicas extremas, principalmente el calor y la sequía, determinan una menor capacidad productiva de los animales, manifiesta como reducción en la producción láctea (Abdalla *et al.*, 1993; Du Preez *et al.*, 1990; Johnson *et al.*, 1991), en la disminución del peso al nacimiento (Bell *et al.*, 1989; Dreiling *et al.*, 1991), menos fecundidad (Du Preez *et al.*, 1991), pobre velocidad de crecimiento (Du Preez *et al.*, 1990) disminución en la producción de lana (Mathur *et al.*, 1991) y mortalidad estacional (Schacht *et al.*, 1992). En ovejas gestantes la progesterona y el lactógeno placentario disminuyen por efecto del calor y ocasionan retardo en el crecimiento fetal (Bell *et al.*, 1989), por otra parte la PGF<sub>2α</sub> uterina, aumenta, con lo cual se puede interrumpir la preñez por estrés calórico (Malayer y Hansen, 1990).

La reproducción en cabras es eficiente y determinada por muchos procesos diferentes. Estos procesos incluyen por ejemplo: la duración del periodo de crianza, el ciclo, el periodo de ovulación y la fertilización del óvulo y el periodo infértil posparto (Greyling, 2000).

En el ganado doméstico los principales efectos dañinos del estrés calórico sobre la reproducción son: disminución en la tasa de concepción, ampliación del ciclo estral, acortamiento del periodo del estro, retención placentaria, reducción y disminución temporal de la fertilidad (Du Preez *et al.*, 1990). Se ha señalado (von Borell, 1995) que el periodo durante los primeros días de preñez, especialmente hasta la implantación del embrión es muy sensible al estrés, ya que el desarrollo y diferenciación del útero durante estos días

depende en gran medida de la función de las hormonas hipofisiarias, las cuales son producidas en forma local sólo hasta los últimos estadios de la preñez, en los cuales los animales son en forma general, insensibles a los estresores.

Estudios pioneros han reportado una mortalidad embrionaria al inicio de la gestación del 30-40% en bovinos (Robinson *et al.*, 1989) y 20-30% en ovinos y caprinos (Edey, 1969), reportándose que las pérdidas embrionarias causadas por el estrés calórico generalmente ocurren de 1 a 3 días posteriores a la fertilización, y conforme avanza el desarrollo del embrión, este va adquiriendo termo – resistencia (Ealy *et al.*, 1994). Estudios realizados con embriones cultivados *in vitro* y sometidos a un choque calórico han incrementado su viabilidad en respuesta a la suplementación con antioxidantes en el medio de cultivo (Ealy *et al.*, 1992; Garland y Carter, 1994), y disminuido su desarrollo en respuesta a la suplementación de inhibidores de antioxidantes (Arechiga *et al.*, 1995; Arechiga y Hansen, 1998). En los bovinos lechero se ha incrementado la producción de leche en un 6 a 10%, así como los porcentajes de preñez evaluados a 120 días pos parto con la administración oral prolongada de antioxidantes como el  $\beta$ -caroteno (Arechiga *et al.*, 1998b).

El funcionamiento reproductivo del ganado en las zonas áridas como en otras regiones, se determina por cuatro factores: el mérito genético, el ambiente físico, la nutrición y el manejo.

Las evidencias de la literatura y las experiencias de la práctica, sugieren que los factores alimenticios sean quizás los más cruciales, en términos de sus efectos directos sobre el fenómeno reproductivo, y el potencial para moderar los efectos de otros factores. Así, la nutrición adecuada podría alentar a los tipos biológicos mediocres para alcanzar su potencial genético, aliviar los efectos negativos del medio ambiente adverso y reducir los efectos de pobres técnicas de manejo. Por otra parte la nutrición pobre no solo reducirá el funcionamiento abajo del potencial genético, sino también exacerbará los efectos ambientales perjudiciales. Más aún, los factores alimenticios más que los otros, se prestan fácilmente a la manipulación para asegurar resultados positivos (Smith y Akinbamijo, 2000)



### 3.2 El Desierto Chihuahuense.

En Norteamérica, el desierto está en una área árida esencialmente continua, la cual se extiende desde el sur de los Estados Unidos (en los estados de Nevada, Nuevo México, Utah, Arizona, Texas y California), en el territorio de México (Chihuahua, Sonora, Coahuila, parte de Durango y Nuevo León) (Sharma, 1991).

El 53% de México es considerado árido y semiárido, y un 40% adicional sufre largas temporadas de sequía. Estos factores climáticos, en conjunto con un terreno muy abrupto (aproximadamente el 59% de la superficie territorial tiene altitudes mayores a los 1,000 msnm), representan para México problemas substanciales para su desarrollo (Schmidt Jr, 1989).

México tiene dos grandes desiertos llamados igual que sus dos más grandes estados, Chihuahua y Sonora (Figura 7.1). Ambos desiertos se extienden hacia el norte a través de la frontera dentro de los Estados Unidos y retienen sus nombres mexicanos. El Desierto Chihuahuense recibe apenas un promedio anual de lluvias de 235 mm con un rango de 150 a 400 mm. Aproximadamente dos tercios de las estaciones meteorológicas registran una precipitación anual total entre 225 y 275 mm. Las condiciones de temperatura son relativamente extremosas y consistentes de año a año. Esto es en gran medida, el resultado de la localización latitudinal y del hecho de que el 90% del desierto se localiza a una altitud entre los 1,100 y 1,500 m. La temperatura anual promedia 18.6°C. Aproximadamente la mitad de las temperaturas medias anuales están dentro de 2°C de promedio. Las temperaturas extremas superiores a los 50°C o menores a los -15°C son muy raras. Las temperaturas mensuales más calientes son muy similares a lo largo de todo el desierto, en un rango de 25° a 30°C. Normalmente la región más seca en este desierto es el sur de Coahuila, particularmente aquellas localidades de tierras bajas localizadas y protegidas por las montañas circundantes. Aunque el Desierto de Sonora es más seco y caliente que el Chihuahuense, las dos más importantes diferencias entre estas zonas áridas son, la distribución de la precipitación durante el año y la longitud de la temporada de cultivo. El inicio y el fin de la temporada de cultivos es mucho más variable en el Desierto Chihuahuense (Schmidt Jr, 1989).

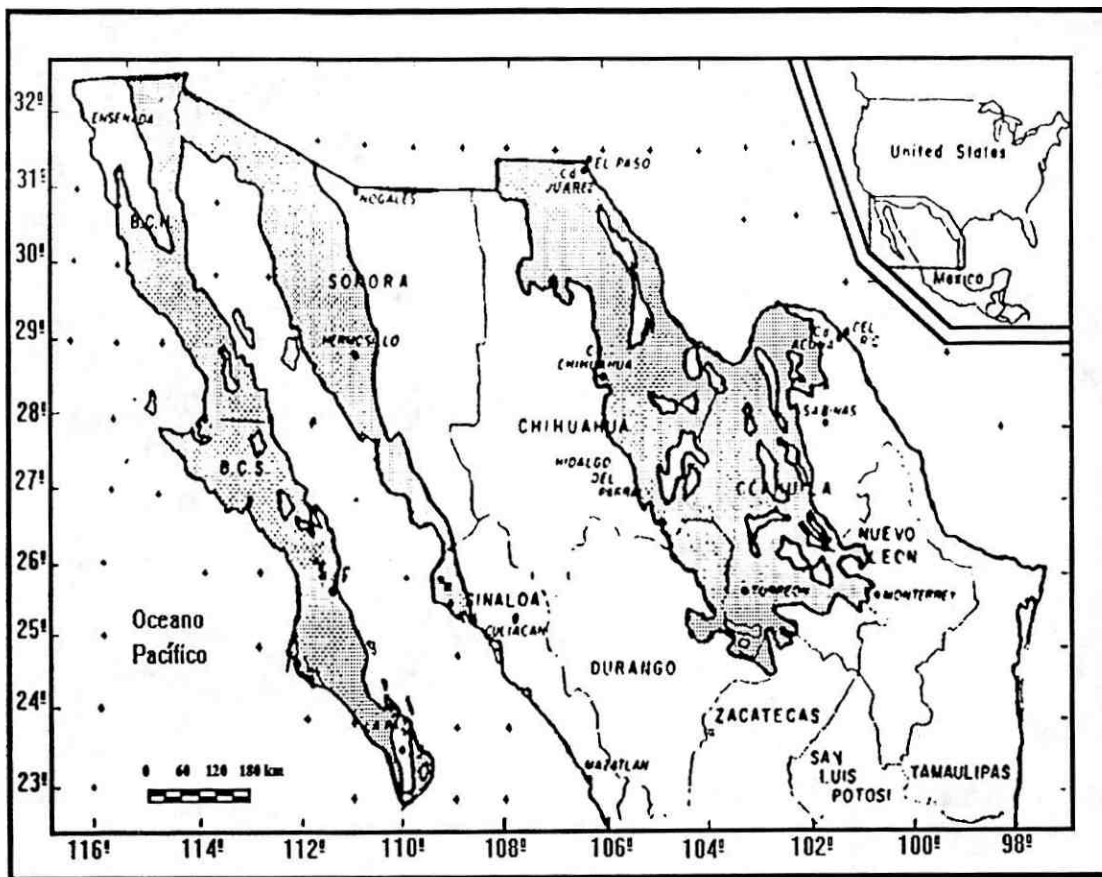


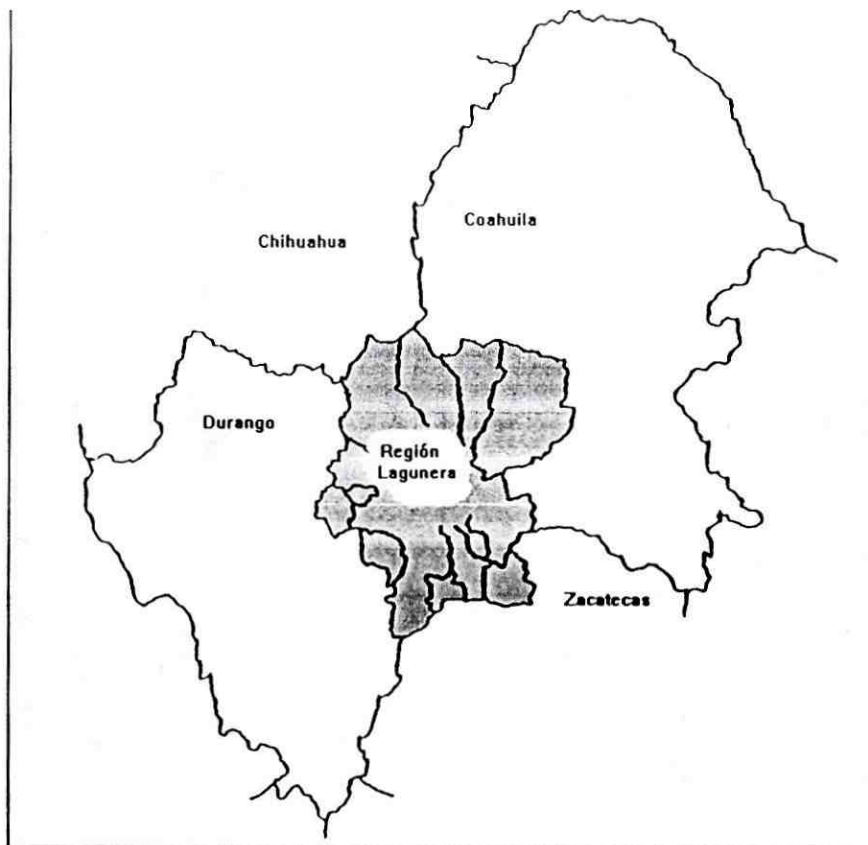
Figura 1. Ubicación geográfica de los desiertos de Chihuahua y de Sonora en la República Mexicana. Modificado de Schmidt (1989).



### 3.3 La Comarca Lagunera como parte del Desierto Chihuahuense

La Comarca Lagunera (Figura 2), se localiza en la parte sur del desierto Chihuahuense y es una zona árida en donde la confluencia de dos corrientes superficiales de consideración: ríos Nazas y Aguanaval y el aprovechamiento de los acuíferos locales ha permitido el desarrollo de actividades agropecuarias altamente especializadas. La precipitación pluvial es de alrededor de 200 mm anuales, concentrada en 30 días de los meses de junio a octubre, con seis o siete meses de sequía definida con precipitaciones pluviales menores a 7 mm al mes. Las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 12.7°C en enero y 28.5°C en junio, con extremas de -5°C y 41.5°C. Debido a la elevada radiación solar la evaporación es diez veces mayor a la precipitación. Estas condiciones dan lugar a una escasa cobertura vegetal. En zonas no irrigadas del poniente de la región la producción anual de materia seca se ha estimado en 136.81 kg por hectárea (Mazcorro *et al.*, 1991).

En la Comarca Lagunera, más de la mitad de los días del año tienen temperaturas superiores a los 30°C, considerada como la temperatura crítica superior para los caprinos (Lu, 1989). Además, se observa que en promedio existen alrededor de 45 días al año con valores de THI (índice de temperatura humedad, por sus siglas en inglés) superiores a 70, considerados como estresantes para el ganado (Du Preez *et al.*, 1991) y que el promedio de THI máximo es de 74.8. Por otra parte, la región también se caracteriza por una escasa y desigual disponibilidad de agua y alimento durante el año.



**Figura 2.** Ubicación geográfica de la Comarca o Región Lagunera, donde se aprecia su localización entre los estados de Durango y Coahuila, así como su colindancia con Chihuahua y Zacatecas.

Los datos anteriores, indican que las condiciones medio ambientales al menos en cuanto a temperatura y precipitación pluvial se refiere, son las características de las zonas áridas, es decir temperaturas elevadas y lluvias escasas, aunque el hecho de manejar los datos promedios disminuyan en parte los efectos de los datos de los mínimos y máximos.

Algunas características medio ambientales y de cobertura vegetal de la Comarca Lagunera representan un reto para la explotación ganadera por sus particularidades específicas, ya que el total de su superficie territorial pertenece a climas clasificados de semisecos a muy secos, teniendo también una superficie promedio de casi el 80% con menos de 300 mm de precipitación pluvial promedio anual y más de tres cuartas partes con una temperatura promedio anual mayor a los 18°C. Además, más de tres cuartas

partes de su superficie, -de acuerdo al tipo de vegetación existente-, presentan condiciones de aprovechamiento principalmente para el ganado caprino.

En el Cuadro 1, se aprecia que más de la mitad de los días del año tienen temperaturas superiores a los 30°C, considerada como la temperatura crítica superior para los caprinos (Lu, 1989) y en más del 80% de los días se reportan temperaturas superiores a los 25°C, consideradas a su vez como la temperatura crítica superior para ganado Holstein (Collier *et al.*, 1982). Además, se observa que en promedio existen alrededor de 45 días al año con valores de THI superiores a 70, considerados como estresantes para el ganado (Du Preez *et al.*, 1991), y que el promedio de THI máximo para el período es de 74.8, con valores que oscilan de 73.9 a 76.4.

La Comarca Lagunera es una importante zona agrícola. El Distrito de Riego comprende casi 250,000 Ha, en las que por más de cien años el cultivo principal fue el algodón, al que se le aplicaron insecticidas hasta en 15 ocasiones al año. Por otra parte, esta superficie de riego implica el funcionamiento de casi 3,000 pozos profundos que extraen más de 1,000 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, lo que representa el triple de la recarga anual de los acuíferos. Esto origina el abatimiento de los niveles de agua en 1.5 a 1.75 m por año, haciendo cada vez más costosa la extracción del agua y a ésta de menor calidad por su creciente concentración de arsénico y sulfatos (Mazcorro *et al.*, 1991). Así, la región tiene altos niveles de contaminación, tanto por insecticidas como por sales minerales, además de los residuos industriales.

**Cuadro 1.** Relación de días de temperaturas críticas superiores para cabras (30°C), para vacas Holstein (25°C), temperaturas máximas registradas en THI superiores a 70.5 y THI máximo registrado (Fuente de datos climáticos: Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE), Matamoros, Coah.)

| <b>Año</b>      | <b>30 o<br/>más °C</b> | <b>25 o<br/>más °C</b> | <b>Temperatura<br/>máxima.</b> | <b>THI días</b> | <b>THI<br/>máxima</b> | <b>Días sin datos</b> |
|-----------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1975            | 217                    | 296                    | 40                             |                 |                       |                       |
| 1976            | 197                    | 265                    | 39                             |                 |                       |                       |
| 1977            | 219                    | 316                    | 38                             |                 |                       |                       |
| 1978            | 230                    | 320                    | 41                             |                 |                       |                       |
| 1979            | 251                    | 315                    | 40                             |                 |                       |                       |
| 1980            | 196                    | 305                    | 39                             |                 |                       |                       |
| 1981            | 212                    | 300                    | 38                             |                 |                       |                       |
| 1982            | 221                    | 308                    | 41.5                           |                 |                       |                       |
| 1983            | 186                    | 281                    | 40                             |                 |                       |                       |
| 1984            | 188                    | 305                    | 38                             | 20              | 73.916                | 4 (temp y THI)        |
| 1985            | 185                    | 284                    | 39                             | 38              | 75.644                | 30 (THI)              |
| 1986            | 174                    | 275                    | 37                             | 47              | 76.352                | 11 (THI)              |
| 1987            | 171                    | 293                    | 39.5                           | 29              | 73.852                | 1 (temp)              |
| 1988            | 204                    | 289                    | 38.5                           | 45              | 73.828                |                       |
| 1989            | 227                    | 295                    | 41.5                           | 65              | 74.352                |                       |
| 1990            | 208                    | 309                    | 39.9                           | 39              | 74.288                |                       |
| 1991            | 197                    | 288                    | 39                             | 46              | 74.88                 |                       |
| 1992            | 205                    | 290                    | 40                             | 49              | 75.388                |                       |
| 1993            | 203                    | 314                    | 39.5                           | 70              | 75.432                |                       |
| 1994            | 238                    | 305                    | 39                             |                 |                       |                       |
| <b>Promedio</b> | <b>206.45</b>          | <b>297.65</b>          | <b>39.37</b>                   | <b>44.80</b>    | <b>74.79</b>          |                       |
| <b>D. E.</b>    | <b>20.91</b>           | <b>14.71</b>           | <b>1.18</b>                    | <b>14.95</b>    | <b>.88</b>            |                       |

Los datos de temperaturas, son obtenidos directamente de la fuente citada: Los datos relativos al THI, fueron calculados a partir de los datos meteorológicos.

Temp = temperatura, D. E. = desviación estándar



Conforme a lo anterior, la producción pecuaria en la región, enfrenta los retos de las temperaturas ambientales extremas, con amplia variabilidad diaria, intensa radiación solar la mayor parte del año, escasa y desigual disponibilidad de agua y alimento durante el año y elevados niveles de contaminación. La ganadería tradicional, intensiva y basada en animales de climas templados, exige destinar más del 30% de la superficie agrícola y más del 50% del agua extraída a la producción de forrajes, instalaciones que permitan aminorar los efectos de las temperaturas ambientales y competir en el mercado con productores con ventajas para la producción. La actividad pecuaria basada en los recursos naturales que ofrece la región requiere de animales con capacidad para sobrevivir a la época de sequía y para aprovechar el periodo de lluvias eficientemente, lo que implica bajos requerimientos energéticos para mantenimiento, capacidad para soportar la privación de agua, eficientes mecanismos de termorregulación y conductas que le permitan lidiar con las inclemencias ambientales.

### **3.4 El rendimiento productivo y la ganadería**

Los animales con alto potencial genético para una elevada productividad, pueden tener menos ventajas o aún, tener desventajas en un medio ambiente restrictivo (Devendra, 1980; Ferrel y Jenkins, 1985).

Los efectos combinados de una alta temperatura ambiental del aire, humedad relativa y radiación solar, tienen profundos efectos sobre la producción láctea, el rendimiento reproductivo y la salud del ganado lechero (Shearer y Beede, 1990).

En los bovinos existen diferencias genéticas para la tolerancia al calor. Por su mayor capacidad de sudar y su menor tasa metabólica la especie *Bos indicus* es más tolerante al calor que la especie *Bos taurus* (West, 1999). Por otra parte, en las razas europeas se ha dificultado la selección para la resistencia calórica debido a la relación inversa que existe entre la producción de leche y la regulación de la temperatura corporal, es decir, los cambios en la genética y fisiología para incrementar la producción de leche, los están haciendo menos capaces para regular su temperatura corporal (Hansen y Arechiga, 1999).

La caída en la fertilidad de las vacas lactantes se ha asociado con el aumento en la capacidad genética para la producción de leche, con cambios en el manejo nutricional y con el gran tamaño de los hatos (Butler, 2000). El aumento en la producción de calor metabólico asociado a la alta producción láctea de los años recientes, tiende a agravar el síndrome de baja fertilidad del verano (Wolfenson *et al.*, 2000), reportándose que las vacas altas productoras de leche (32.6 kg/d) y las medianas productoras (18.5 kg/d) tienen una producción de calor de un 48.5% y 27.3% respectivamente, mayor a la de las vacas secas (West, 1999).

También las altas producciones de leche en la vaca con su alto gasto energético, dependen de los altos niveles de proteína y energía de la dieta. Dependiendo de la calidad de proteína y su composición, las concentraciones de progesterona sérica pueden ser menores por lo que el medio ambiente uterino puede estar alterado y disminuida la fertilidad (Butler, 2000).

La producción de leche y el consumo del total de nutrientes digestibles disminuye ligeramente cuando el THI excede de 72 y disminuye agudamente cuando excede los 76. La producción de leche desciende cuando la temperatura corporal excede los 38.9°C y por cada 0.55° C de aumento en la temperatura rectal, la producción de leche y el consumo de total de nutrientes digestibles disminuye 1.8 y 1.4 kg respectivamente (West, 1999). Por otra parte, cuando la producción de leche se incrementa rápidamente, la vaca entra a un balance energético negativo cuya severidad y duración se relacionan principalmente con el consumo de materia seca, el cual a su vez se relaciona con la condición corporal al parto (Butler, 2000).

### **3.5 Los efectos del estrés calórico sobre la reproducción**

En las vacas lecheras, el estrés calórico reduce las tasas de concepción, disminuye la duración e intensidad del estro y se ha reportado que altera las concentraciones circulatorias de estradiol y las dinámicas foliculares (Trout *et al.*, 1998).

El estrés calórico reduce drásticamente las tasas de preñez en vacas lecheras, ya que además de afectar la mortalidad embrionaria, el estrés calórico reduce la duración e

intensidad de la conducta del estro, de manera que bajo condiciones de estrés calórico, una proporción más pequeña de vacas es detectada en estro (Arechiga *et al.*, 1998b), probablemente debido a la duración de éste, ya que se ha reportado (Hansen y Arechiga, 1999) que durante el verano, se observan menos intentos de monta entre vacas (4.5), que durante el invierno (8.6).

El estrés es la incapacidad de un animal para acoplarse con su medio ambiente, un fenómeno que se manifiesta por una falla para alcanzar un potencial genético. La tasa de crecimiento, producir leche, resistencia a las enfermedades, o fertilidad.

El estrés calórico también afecta la capacidad reproductora de los animales domésticos. La característica más prominente de la infertilidad en el verano es de naturaleza multifactorial, ya que la hipertermia altera directamente y daña las funciones celulares de varias partes y tejidos del sistema reproductor. Además la exposición del ganado al estrés térmico produce respuestas indirectas, las cuales pudieran también tener un impacto sobre los procesos reproductores. Tales respuestas incluirían la redistribución del flujo de sangre entre los órganos del cuerpo, la reducción en el consumo de alimento, la alcalosis respiratoria, etc. Aunque el impacto de varios efectos directos o indirectos del estrés calórico sobre los procesos reproductores no han sido cuantificados, se cree que el efecto directo predominante de la hipertermia es el daño de las funciones celulares (Hansen y Arechiga, 1999; Wolfenson *et al.*, 2000).

El estrés calórico en el verano es el principal factor para la baja fertilidad en vacas lecheras lactantes. Es un problema mundial, el cual produce una pesada pérdida económica y afecta a cerca del 60% de la población mundial del ganado (Hansen y Arechiga, 1999).

La caída en las tasas de concepción de alrededor de un 40-60% en los meses fríos hasta un 10-12% o menos en el verano, depende de la severidad del estrés calórico. El aumento sustancial en la producción de leche en los años recientes, ha agravado el síndrome de baja fertilidad del verano, debido al aumento concurrente en la producción de calor metabólico. Tradicionalmente se asocia a la baja fertilidad en verano principalmente con los meses calientes del año (usualmente junio, julio, agosto y septiembre en el



hemisferio norte). Sin embargo, la fertilidad permanece mas baja en otoño (octubre y noviembre), que en el invierno, aunque la temperatura ambiente baja y las vacas no están más expuestas al estrés calórico (Wolfenson *et al.*, 2000).

En la ultima década se han dedicado grandes esfuerzos para aclarar el daño de los procesos en el sistema reproductivo, inducido por el estrés calórico, y el funcionamiento de varias de sus partes. La ultrasonografía, el cultivo celular, la maduración y la fertilización de oocitos *in vitro* se encuentran entre los medio de alcanzar un aumento en la comprensión de los mecanismos mediante los cuales el estrés calórico afecta negativamente la fertilidad de los bovinos (Wolfenson *et al.*, 2000).

Uno de los usos más importantes de la sincronización de estros es para programar la inseminación artificial. El uso de inseminación artificial programada (TAI) ofrece ventajas para la inducción de la actividad reproductora en posparto temprano, reduciendo la necesidad de la detección de estros. Además tiene la posibilidad de reducir los efectos deletéreos del estrés calórico en la función reproductora de las vacas lecheras (Arechiga *et al.*, 1998a). También se utilizan la sincronización de estro en animales de celos estacionales como las cabras, las que manifiestan un ritmo circanual endógeno de actividad biológica, que responde a los cambios de longitud del día. La mayoría de las cabras comienzan a reproducirse de junio a julio, alcanzando su máximo entre septiembre y noviembre cuando la duración del día es relativamente corta (Amoah *et al.*, 1996).

Entre otros factores indirectos del estrés calórico sobre la reproducción, (West, 1999), se ha planteado que como consecuencia del estrés calórico se observa una tasa reducida del metabolismo, la disminución del consumo de materia seca y nutrientes, y el metabolismo alterado y que estas respuestas frecuentemente tienen un efecto negativo sobre la fisiología y producción de leche de la vaca. Por otra parte, algunos efectos del estrés calórico pueden involucrar a la ACTH, ya que ésta puede ocasionar un bloqueo del comportamiento sexual inducido por el estradiol (Hansen y Arechiga, 1999).

Existen diferentes formas en las que el estrés calórico maternal puede disminuir la fertilidad de los bovinos: Se han observado efectos que podrían involucrar daño tanto sobre los espermatozoides como en los oocitos, debido a que los espermatozoides



depositados dentro del tracto reproductivo de una hembra hipertérmica están potencialmente en riesgo de dañarse por el choque calórico (Hansen y Arechiga, 1999).

Dentro de los efectos dañinos del estrés calórico sobre el proceso reproductivo se encuentran las alteraciones en la duración del celo, los cambios en la dinámica folicular, un aumento en la secreción de prostaglandinas en el útero (Ealy *et al.*, 1994) y una disminución en la supervivencia embrionaria, por lo que el desarrollo del embrión se interrumpe por exposición a temperaturas elevadas (Arechiga y Hansen, 1998).

Como causa de los daños descritos, se puede señalar el incremento en la producción de radicales libres de oxígeno, por lo que el sistema antioxidante de los embriones es de gran importancia para la resistencia térmica, por que estos pueden provocar infertilidad debido a que los tejidos esterediogénicos del ovario, los espermatozoides y la preimplantación embrionaria son sensibles al daño de los radicales libres (Arechiga y Hansen, 1998).

El estrés calórico es particularmente dañino en las etapas tempranas de gestación. Se ha reportado que los oocitos periovulatorios y los embriones muy jóvenes pueden ser sumamente susceptibles al estrés calórico (Ealy *et al.*, 1994; Hansen y Arechiga, 1999), por lo que la exposición de vacas Holstein lactantes superovuladas al estrés calórico en el día 1 después del estro, disminuye la viabilidad y el desarrollo de los embriones recuperados al día 8, pero el estrés calórico no tiene efecto si se aplica en los días 3, 5 o 7 después de la inseminación (al-Katanani *et al.*, 1999).

También en ovejas se ha reportado que el desarrollo embrionario y la viabilidad se afectan más cuando el estrés calórico ocurre en los días del estro o un día después, que cuando ocurre después del tercer día post estro (Ealy *et al.*, 1994). Esto tiene relación con las evidencias que el  $\beta$ -caroteno puede tener un efecto sobre el desarrollo folicular, en los bovinos observaron que la ovulación ocurría alrededor de 1 día después de iniciado el estro en el grupo suplementado con  $\beta$ -caroteno, pero no hasta dos días después de iniciado el estro en el grupo deficiente (Arikan y Rodway, 2000).

La resistencia embrionaria al estrés calórico no es sólo cuestión de tiempo, sino también de su desarrollo, ya que por ejemplo, los embriones de bovinos de dos células son más susceptibles al choque calórico que los oocitos maduros: el desarrollo de la etapa de 4 a 8 células está asociado con un incremento en la termotolerancia, y además la resistencia térmica no se obtiene hasta la etapa de mórula (Arechiga y Hansen, 1998). Se ha intentado explicar a nivel celular, ya que los embriones jóvenes no tienen capacidad transcripcional y por lo tanto no producen moléculas protectoras como las proteínas de choque calórico (Hsp70) (Arechiga y Hansen, 1998; Hansen y Arechiga, 1999).

### **3.6 Los antioxidantes y el estrés calórico**

Para los herbívoros y omnívoros, el  $\beta$ -caroteno es una fuente importante de vitamina A. Pero además de esta función como fuente local o sistémica de vitamina A, el  $\beta$ -caroteno ha llamado la atención por su posible importancia en el rendimiento reproductivo de diferentes especies de animales de granja. Se han observado efectos positivos del  $\beta$ -caroteno en la fertilidad de bovinos, caballos, conejos y cerdos, sin embargo, los resultados en todas las especies son todavía algo contradictorios. Se ha observado que bajo ciertas condiciones, el  $\beta$ -caroteno pueden absorberse a bajos niveles en cerdos, y acumularse en sus tejidos, donde puede influir el metabolismo local de la vitaminas A. Esto podría ser importante en tejidos asociados con la reproducción y podría expandir algunos de los efectos del  $\beta$ -caroteno observados en la reproducción porcina (Schweigert *et al.*, 2001).

La mayoría de los carotenoides pueden ser descritos con la fórmula general  $C_{40}H_{56}O_n$ , donde  $n$  son 0-6- Hidrocarburos ( $n = 0$ ) llamados carotenos y los carotenoides oxigenados llamados xantofilas (Greiwe-Crandell *et al.*, 1997).

Desde 1956 se ha resaltado la importancia de la acumulación de radicales libres de oxígeno durante la respiración aeróbica, como causa de daño acumulativo que ocasiona envejecimiento y muerte, siendo las tres principales clases de macromoléculas biológicas (lípidos, ácidos nucleicos y proteínas), susceptibles al ataque de los radicales libres, existiendo abundante evidencia de que todas sufren daño oxidativo *in vivo* (Beckman y Ames, 1998).



El oxígeno diatómico ( $O_2$ ) es un tipo de radical y el más importante oxidante en los organismos aeróbicos. La reducción de uno o dos electrones del  $O_2$  genera  $O_2^-$  y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) respectivamente, los cuales son generados por numerosas rutas *in vivo*. En presencia de metales libres de transición (en particular hierro y cobre), el  $O_2^-$  y  $H_2O_2$  generan juntos radicales hidroxilos (OH) sumamente reactivos, los cuales se cree son los responsables de iniciar la destrucción oxidativa de las biomoléculas (Beckman y Ames, 1998). Aproximadamente 1 o 2% del oxígeno metabolizado es convertido a una especie de oxígeno reactivo (Arechiga *et al.*, 1998a), y algunos sistemas de oxígeno existentes en células y fluido extracelular son removidos a estas moléculas entre estos el glutatión peroxidasa que es un selenio-dependiente de la enzima que utiliza electrones de glutatión y otros para convertir los peróxidos en agua (Arechiga y Hansen, 1998).

Por otra parte, las células están equipadas con un impresionante repertorio de enzimas antioxidantes, así como con pequeñas moléculas antioxidantes obtenidas principalmente de frutas y vegetales en la dieta. Estas incluyen 1) enzimas inactivadoras como la superóxido dismutasa (SOD), la que acelera la dismutación de  $O_2^-$  a  $H_2O_2$ , y catalasas y glutatión peroxidasa (GPX), que convierten el  $H_2O_2$  en agua, 2) inactivadoras de radicales hidrofílicos como el ascorbato, el urato, y el glutatión dehidroascorbato reductasa (GSH); 3) la inactivación de radicales lipofílicos como son el tocoferol, los flavonoides, los carotenoides y el ubiquinol; 4) enzimas involucradas en la reducción de formas oxidadas de pequeñas moléculas antioxidantes (GSH), responsable del mantenimiento de las proteínas tioles (thioredoxin reductasa); y 5) el mecanismo celular que mantiene la reducción del entorno (por ejemplo; glucosa 6-fosfato dehidrogenasa, la cual regenera al nicotin adenin dinucleofosfatasa (NADPH) (Beckman y Ames, 1998).

El sistema antioxidante incluye moléculas como el  $\beta$ -caroteno, la vitamina E, el selenio, el glutatión y la taurina, los cuales actúan como antioxidantes de membrana, manteniendo la integridad de la membrana fosfolípida contra los daños oxidativos y las peroxidaciones, y como cofactor que actúa en el líquido intracelular y los compartimientos extracelulares para catalizar la destrucción de peróxidos (Arechiga y Hansen, 1998; Ealy *et al.*, 1994). Los carotenoides son importantes para los humanos y otros animales como precursores de vitamina A (palmitato de retinol) y retinoides. Además, actúan como



antioxidantes, como inmunoestimulantes, como inhibidores de la mutagénesis e inhibidores de lesiones premalignas, filtrando pigmentos en la fovea primitiva, y suprimiendo la fluorescencia no fotoquímica (Folman *et al.*, 1987; Greiwe-Crandell *et al.*, 1997).

Debido a su capacidad de atrapar radicales libres y de su función como inhibidores de las especies reactivas al oxígeno, los antioxidantes, tales como los carotenoides y los tocoferoles, están aumentando el interés entre los investigadores que estudian sus efectos sobre procesos reproductivos como la preeclampsia. Así, los resultados de estudios recientes sugieren que hay un desequilibrio entre la peroxidación de los lípidos y las defensas antioxidantes en la preeclampsia, comparada con embarazos normotensivos (Zhang *et al.*, 2001).

Se ha reportado que inyectar vitamina A, metabolito del  $\beta$ -caroteno, administrado al momento de la aplicación de FSH para superovular vacas, provocó un incremento en la recuperación de blastocitos pero no afectó la tasa de la ovulación (Arechiga *et al.*, 1998a). La vitamina A en la dieta en forma de palmitato de retinol, a una concentración comparable a la presente en los reemplazos de leche comercial, causa solamente un incremento modesto en las concentraciones de retinol en plasma (Nonnecke *et al.*, 1999).

Otros estudios, sin embargo sugieren que las altas concentraciones de vitamina A en la dieta disminuyeron la viabilidad de la vitamina E en vacas lecheras jóvenes y adultas (Nonnecke *et al.*, 1999).

Existe un número de factores que influyen en la biodisponibilidad de los carotenoides, los cuales se agrupan en nemotécnico SLAMENGI (en inglés): Especies (*Species*) de carotenoides, Unión (*Linkage*) molecular, Cantidad (*Amount*) de carotenoides consumidos en el alimento, Matriz (*Matrix*) en la cual los carotenoides se incorporan, Efectores (*Effectors*) de absorción y bioconversión, Estado de Nutrición (*Nutrient*) del hospedero, Factores Genéticos (*Genetic*), Factores relacionados con el Hospedero (*Host*), e interacciones matemáticas (*Mathematical*), definiendo biodisponibilidad como la fracción del nutriente ingerido que está disponible para su utilización en las funciones fisiológicas o para su almacenamiento (Greiwe-Crandell *et al.*, 1997).

Los carotenóides plasmáticos representan aproximadamente el 1% del contenido corporal total de carotenoides, mientras que la mayor concentración de ellos se encuentra en el hígado (Greiwe-Crandell *et al.*, 1997).

### 3.7 Los antioxidantes y la reproducción

En mórulas de ratón se ha observado que se incrementa la producción de radicales libres debido a que el choque calórico reduce las concentraciones del antioxidante glutatión (Arechiga y Hansen, 1998). Varias enzimas remueven radicales libres, entre ellas, la glutatión peroxidasa, dependiente del selenio y que utiliza electrones del glutatión y otros compuestos que contienen azufre para convertir los peróxidos en agua (Arechiga y Hansen, 1998). También el incremento de la producción de radicales libres causado por el estrés calórico, también podría llevar y posiblemente dañar el epitelio mamario y contribuir a la disminución y rendimiento de la leche (Trout *et al.*, 1998).

Los radicales libres pueden dañar varios de los procesos asociados con la fertilidad reproductiva, incluyendo la síntesis de esteroides y prostaglandinas, la motilidad espermática y el desarrollo embrionario (Aréchiga *et al.*, 1994), ya que el aumento en su formación puede agobiar los mecanismos de defensa de los antioxidantes y comprometer la función celular. La producción de radicales libres puede representar una fuente de infertilidad debido a que el tejido ovárico, la esteroidogénesis, los espermatozoides y la preimplantación del embrión, son sensibles a los daños producidos por ellos (Arechiga *et al.*, 1998b).

La administración de vitamina E y selenio incrementan la fertilidad en vacas, que recibieron dos o más servicios. Una simple inyección preparto de Vitamina E y Selenio también incrementó la fertilidad (Arechiga *et al.*, 1998b).

Así mismo los antioxidantes son importantes para la adecuada función reproductiva. Varios estudios han demostrado que la administración de selenio, vitamina E, o la combinación de ambos reducen la incidencia de retención de membranas fetales y de metritis, mejoran la fertilidad y reducen la incidencia de quistes ováricos y se ha observado que la inyección de vitamina E y selenio tiene un efecto benéfico sobre la función

reproductiva postparto de vacas lecheras, causando una disminución de la incidencia de retención de membranas fetales y un aumento en la fertilidad (Aréchiga *et al.*, 1994). El mecanismo de formación del quiste ovárico en cabras, podría tener relación con la producción de éstas, ya que pudieran ser producidos por una reducción en los receptores de la hormona leuteinizante (Kawate *et al.*, 2000b).

El estrés calórico no extendió la función luteal o la longitud del ciclo estral en vacas Holstein lactantes, pero afectó el crecimiento folicular y las concentraciones de progesterona en plasma. El estrés calórico no pareció incrementar la peroxidación lípida o disminuir las concentraciones del antioxidante lípido soluble en la sangre (Trout *et al.*, 1998).

Los quistes ováricos son una de las causas de infertilidad en cabras, y la incidencia de quistes ováricos en cabras, en registros en los mataderos fue reportado que el 20% lo tenían (Kawate *et al.*, 2000a).

La condición o estado de la vitamina A, así como el estado de la vitamina E y el selenio, pueden influir en la ocurrencia de mastitis en los hatos lecheros (Oldham *et al.*, 1991). A la fecha no se han definido los mecanismos por los cuales el selenio refuerza la expulsión de las membranas fetales después del parto, pero podrían involucrar efectos sobre la esteroidogénesis o la síntesis de prostaglandinas. La administración oral de selenio refuerza la actividad bactericida de los neutrófilos y las vacas que experimentan retención de membranas fetales tienen disminuida la función de los neutrófilos en la etapa post parto. Además, el selenio puede influir en las contracciones uterinas después del parto durante la expulsión de las membranas fetales, debido a que aumenta su actividad contráctil (Aréchiga *et al.*, 1994).

A pesar de que los embriones jóvenes pueden ser insensibles a la protección térmica de los antioxidantes, se ha observado que la exposición de embriones de ratón a un choque calórico, disminuye la concentración intracelular del antioxidante glutatión y la inhibición de la síntesis del glutatión, aumentando la sensibilidad al choque calórico. Así mismo se observó que los metabolitos y la vitamina A, incrementaron la supervivencia en



embriones de cerdo y el desarrollo de embriones de bovinos en el estado de blastocitos (Arechiga *et al.*, 1998b).

### 3.8 El $\beta$ -caroteno y la reproducción

El efecto de la suplementación con  $\beta$ -caroteno sobre la fertilidad ha sido un tema controversial. Se han reportado efectos benéficos en vacas lactantes pero también falta de respuesta. Por otra parte también se han reportado efectos adversos sobre la fertilidad (Arechiga *et al.*, 1998a). Los resultados en ovejas también son controversiales, ya que se ha reportado un pico preovulatorio de estradiol, ocurriendo después del estro y otro pico de menor magnitud entre los días 4 y 7 del ciclo estral (de Castro *et al.*, 1999).

Los cerdos inyectados con  $\beta$ -caroteno lo transportaron dentro de los componentes subcelulares de sus células de la granulosa, células luteales y el endometrio (Weng *et al.*, 2000).

El  $\beta$ -caroteno está presente en concentraciones sumamente altas en el cuerpo lúteo de los bovinos, dando su característico color amarillo, así como actuando como precursor de la vitamina A, de ahí la evidencia de que incrementar el  $\beta$ -caroteno puede ser necesario para la óptima producción de esteroides, posiblemente actuando como un antioxidante (Arikan y Rodway, 2000). La dieta con  $\beta$ -caroteno no influyó significativamente en las concentraciones de  $17\beta$ -estradiol plasmático. Por lo general, las concentraciones plasmáticas de  $17\beta$ -estradiol fueron mayores durante el periodo ovulatorio (Weng *et al.*, 2000).

Sin embargo, el cuerpo luteo desarrolla un folículo de graaf después de la ovulación, secreta P4 que es requerida para el sostén de la preñez de los mamíferos (Kawate *et al.*, 2000a).

El  $\beta$ -caroteno es un antioxidante potente, especialmente en tejidos parcialmente bajos en la presión de oxígeno, protegiendo a las células del daño causado por especies de oxígeno producidas por las células durante el metabolismo normal o inducidas por el medio ambiente. El  $\beta$ -caroteno puede servir para proteger el cuerpo luteo desde los daños

estructurales y funcionales de las especie de oxígeno reactivo y para tener una actividad esteroidogénica óptima, por lo que el  $\beta$ -caroteno en la dieta aumenta la concentración de progesterona en plasma y acelera el tiempo de ovulación. (Weng *et al.*, 2000)

El  $\beta$ -caroteno en los bovinos es transportado normalmente a los ovarios, incorporado en componentes lípidos: las lipoproteínas de alta densidad (HDL), y las lipoproteínas de baja densidad (LDL) para las que las células lúteas han mostrado tener receptores sobre su membrana celular. Tanto las HDL como las LDL abastecen al cuerpo lúteo de otras sustancias solubles en grasas como son el colesterol, la vitamina A y la vitamina E (Arikan y Rodway, 2000). La correlaciones positivas significativas entre caroteno plasmático, el tocoferol y el colesterol, son interesantes porque en los bovinos el caroteno se transporta en la sangre por lipoproteínas de alta densidad de (Folman *et al.*, 1987).

Se ha reportado que alimentar vaquillas con  $\beta$ -caroteno incrementa el tiempo desde el tratamiento con  $\text{PGF}_{2\alpha}$  al estro, el pico de concentración de hormona luteinizante, y la ovulación, pero disminuye el intervalo del estro a la ovulación. Así mismo el  $\beta$ -caroteno estuvo fundado en fracciones subcelulares del cuerpo luteo de los bovinos y el alimento de caroteno a vaquillas, incrementó el plasma de la progesterona siguiendo de una gonadotropina coriónica en vaquillas preñadas, pero no dentro de sus ciclos (Folman *et al.*, 1987).

Existen varias formas en que el  $\beta$ -caroteno afecta al proceso reproductivo en las vacas lecheras: disminuyendo el intervalo de tiempo entre el que ocurre el pico de la LH y la ovulación, encontrándose un retraso de 72 a 49 h en vacas deficientes respecto a las suplementadas; favoreciendo el desarrollo folicular, observándose que las vacas suplementadas ovulan un día después de iniciado el estro y las deficitarias de  $\beta$ -caroteno sólo hasta dos días después; evitando la presencia de quistes ováricos, ya que las vacas suplementadas tienen una menor incidencia que las no suplementadas; así como favoreciendo la esteroidogénesis al favorecer el abastecimiento de colesterol, precursor de la progesterona (Arikan y Rodway, 2000).



En el ganado caprino no se tienen estudios acerca del efecto del suplemento de  $\beta$ -caroteno sobre la reproducción y producción de leche, a pesar de ser una región con una alta población de animales de esta especie y con condiciones ambientales que afectan la capacidad productiva del ganado, por lo que la suplementación con este antioxidante puede tener efectos benéficos sobre el comportamiento reproductivo en esta especie. El propósito de este experimento fue evaluar el efecto que la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre el comportamiento reproductivo del hembras caprinas, para lo cual, se midió la producción de folículos totales, los cuerpos lúteos totales, la actividad ovárica total, y los niveles séricos de progesterona durante la fase lútea, en cabras suplementadas y no suplementadas con este antioxidante en la Comarca Lagunera.

La LH es una hormona (glicoprotéica), conformada por dos unidades diferentes, es decir una unidad  $\alpha$  y una unidad  $\beta$ . La unidad  $\alpha$  se encuentra comúnmente en tres especies de hormonas de la pituitaria anterior, o sea en la hormona luteinizante (LH), la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona estimulante de la tiroides (TSH), mientras que la unidad  $\beta$  es diferente en estas tres hormonas y le confiere especificidad biológica a cada una (Kawate *et al.*, 2001).

En los rumiantes domésticos, la fertilización no ocurre después del estro, el cuerpo luteo continua funcionando sólo aproximadamente dos semanas, entonces sucede el retroceso del próximo estro (Kawate *et al.*, 2000a).

Aparentemente, la luteolisis se ha desarrollado en algunas especies como un mecanismo para incrementar la eficiencia reproductiva, debido a que el principal producto de la secreción del cuerpo luteo en la mayoría de los mamíferos es la hormona esteroidea progesterona, la cual es la hormona de la preñez en los mamíferos y a la que se considera como esencial para mantener la preñez al inducir el medio ambiente uterino adecuado para el desarrollo del embrión. La progesterona también es responsable de la reducción de la actividad cíclica ovárica durante la preñez en la mayoría de los mamíferos, y es responsable en parte, del desarrollo mamario (McCracken *et al.*, 1999).

Durante la luteolisis, la reducción de la progesterona remueve su bloqueo de los pulsos tónicos de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) LH y el consecuente



incremento en la frecuencia de los pulsos favorece el crecimiento del folículo preovulatorio y el aumento en la secreción de estrógenos para el próximo ciclo. La oxitocina se sintetiza por el cuerpo lúteo de algunas especies, especialmente en los rumiantes, y puede jugar un papel importante en la luteolisis. Evidencia inicial indicó que, además de regular la síntesis uterino de  $\text{PGF2}\alpha$ , el estrógeno y la progesterona pueden también, durante la luteolisis, controlar la secreción de oxitocina desde la neuropofisis (McCracken *et al.*, 1999).

También la ovulación y la formación del cuerpo lúteo están bajo control gonadotropico, y ciclos repetitivos ocurren con una fase folicular relativamente corta y una fase lúteal relativamente larga. Durante la breve fase folicular, el aumento de estrógenos a partir del folículo (s) preovulatorio (s), induce un corto período de receptividad sexual (estro) así como la inducción de la oleada de hormona luteinizante (LH). De esta forma, la cópula está sincronizada con la ovulación (McCracken *et al.*, 1999).

## 4 Materiales y métodos

Para evaluar el efecto de la suplementación en la dieta con  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica y la producción de progesterona, se utilizaron 22 cabras encastadas de razas Alpina, Saanen, Toggenburg, Granadina de 4 años de edad, sexualmente maduras, no gestantes alojadas en las instalaciones de la Unidad de Experimentación Caprina Sur, de la Universidad Autónoma Chapingo (URUZA-UACH), de Tlahualilo, Durango. A 26°06' LN y 103°26' LO, a una altitud de 1092 msnm.

Las cabras se alojaron en corrales con sombra disponible todo el día. La alimentación consistió en heno de alfalfa (14% PC; 1.14 Mcal/kg Enm), y silo de maíz (8.1% PC; 1.62 Mcal/kg Enm). Las cabras tuvieron acceso libre a agua, sales minerales.

El primer día del experimento (1 de Octubre de 2002), las cabras se distribuyeron en forma aleatoria en dos lotes experimentales, Grupo  $\beta$ -caroteno (BETA), con 10 cabras con un peso vivo promedio de 45.98 ( $\pm$  5.14 kg), y Grupo Control (CONT), con 12 cabras con un peso vivo promedio de 46.21 ( $\pm$  5.87 kg).

Las cabras del grupo BETA, fueron suplementadas en el alimento con 200 mg de  $\beta$ -caroteno (Roche Vitaminas México, S.A. de C.V. Guadalajara Jalisco, México) durante 35 días previos a la ovulación y durante 17 posteriores a la misma, mientras que las cabras del grupo CONT no fueron alimentadas con el antioxidante.

El día 16 del experimento, todas las cabras se sometieron a sincronización mediante la aplicación de esponjas vaginales de fluorogestona (Intervet, International, B.V., Boxmeer-Holanda) con un aplicador para inserción de las esponjas vaginales (Intervet, International B.V., Francia). El día 24 del experimento se aplicó Cloprostenol (Prosolvín, Intervet International B.V., Boxmeer-Holanda), producto sintético y análogo de la PGF $2\alpha$  a razón de 0.075 mg/cabra. El día 27 del experimento, se removieron las esponjas de fluorogestona, presentándose el estro dos días después del experimento. Los celos se detectaron por observación de los signos y con un macho con peto respectivamente.



El día 8 post ovulación, se colectaron muestras de sangre de las cabras de ambos grupos experimentales para la determinación de los niveles séricos de P4, mediante punción yugular, utilizando agujas estériles de 0.8 x 38 mm (Precisión Glide™ Becton Dickinson VACUTAINER Systems, N.J., USA), y tubos colectores estériles Vacutainer de 10 ml. Para la obtención de suero las muestras se dejaron reposar durante 20 minutos a temperatura ambiente hasta observarse la formación del coágulo y luego centrifugarlas a 1800 rpm durante 15 minutos. De cada muestra de suero se hicieron dos alícuotas y se colectaron en microtubos de polipropileno MCT-150-C (Axigen<sup>R</sup> Scientific, INC., Unión City, CA., USA) de 1.5 ml, manteniéndose en congelación a -18°C hasta su análisis posterior

Para la determinación de P4, se utilizó radio inmuno análisis (RIA), análisis realizado en el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Estatal de Nuevo Mexico.

La actividad ovárica fue evaluada 17 días después de la segunda ovulación, mediante rastreo ultrasonográfico transrectal (Toshiba Medical Systems, Ltd, Crawley, UK), con un transductor de matriz linear de 7.5 Mhz para uso veterinario.

Se registraron los Folículos Totales (FT) y los cuerpos lúteos totales (CLT) presentes en cada ovario. La actividad ovárica total (AAT) se registró como la suma de TF y CL.

Los experimento utilizó un diseño completamente aleatorio (CRD), con dos tratamientos: Grupo Control (CONT) y Grupo β-caroteno (BETA) evaluándose el efecto de ambos tratamientos sobre la producción de folículos totales, la producción de cuerpos lúteos totales, la actividad ovárica total, y los niveles séricos de P4 mediante mínimos cuadrados de varianza, usando el procedimiento Modelo General Linear (SAS, 1991).



## 5 Resultados

Para evaluar el efecto que la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre el comportamiento reproductivo de hembras caprinas, se evaluaron diferentes indicadores morfológicos y hormonales en cabras suplementadas y no suplementadas con este antioxidante.

En el Cuadro 1 se observan los resultados relativos a los indicadores morfológicos: el número de folículos totales, cuerpos lúteos totales y la actividad ovárica total, en las cabras sujetas al experimento, en donde se aprecia que las cabras suplementadas con  $\beta$ -caroteno, tuvieron una mayor producción de folículos -4.9 en el grupo beta vs 3.5 en grupo control- ( $P < 0.08$ ) y una mayor actividad ovárica total, 8.1 en el grupo BETA vs 6.3 en el grupo CONT ( $P < 0.08$ ), mientras que no se observaron diferencias estadísticas en la producción de cuerpos lúteos totales.

**Cuadro 1.** Medias de mínimos cuadrados para folículos totales (FT), cuerpos lúteos totales (CLT) y actividad ovárica total (AOT) en cabras con  $\beta$ -caroteno (Beta) y en cabras testigo (CONT) de la Comarca Lagunera

| Variables | BETA             | CONT             | NSO <sup>2</sup> | EE <sup>3</sup> |
|-----------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| FT        | 4.9 <sup>a</sup> | 3.5 <sup>b</sup> | 0.08             | 0.6             |
| CLT       | 3.4 <sup>a</sup> | 2.8 <sup>a</sup> | 0.16             | 0.2             |
| AOT       | 8.3 <sup>a</sup> | 6.3 <sup>b</sup> | 0.08             | 1.4             |

<sup>1</sup> Al no existir interacción entre efectos principales, se reportan las medias de mínimos cuadrados para efectos principales  $\pm$  EE.

<sup>2</sup> Nivel de significancia observado.

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

En el Cuadro 2 se puede observar que el número de cuerpos lúteos totales no fue diferente entre los dos grupos experimentales (3.4 vs 2.8), aunque se observa una tendencia a un valor mayor en el grupo BETA. Tampoco, los niveles séricos de progesterona fueron diferentes ( $P < 0.12$ ) entre ambos grupos, aunque existió una tendencia a ser superiores en el grupo BETA.

**Cuadro 2.** Medias de mínimos cuadrados para cuerpos lúteos totales (CLT) y niveles séricos (ng mL<sup>-1</sup>) de progesterona (P4), los días 4, 8 12 y 16 del ciclo estral en cabras con Betacaroteno (Beta) y en cabras testigo (CONT) de la Comarca Lagunera

| Variables | BETA             | CONT             | NSO <sup>2</sup> | EE <sup>3</sup> |
|-----------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| CLT       | 3.4 <sup>a</sup> | 2.8 <sup>a</sup> | 0.16             | 0.2             |
| P4        | 5.5 <sup>a</sup> | 4.5 <sup>b</sup> | 0.05             | 0.3             |

<sup>1</sup>Al no existir interacción entre efectos principales, se reportan las medias de mínimos cuadrados para efectos principales ± EE.

<sup>2</sup>Nivel de significancia observado

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

## 6 Discusión

Evidencias científicas demuestran que el  $\beta$ -caroteno tiene efectos benéficos sobre la capacidad reproductiva de los animales domésticos, cuando se añade a la dieta de éstos. Sin embargo, no existe suficiente información respecto a la suplementación de  $\beta$ -caroteno en el ganado caprino.

Para evaluar el efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre el comportamiento reproductivo del ganado caprino, se evaluaron diferentes indicadores morfológicos y hormonales en cabras suplementadas y no suplementadas con este antioxidante, lo que pudiera ser una estrategia para aumentar los índices reproductivos en cabras de la Comarca Lagunera.

Los resultados obtenidos en este experimento permiten observar que la suplementación con  $\beta$ -caroteno tuvo el efecto esperado sobre los indicadores reproductivos. Además estadísticamente se encontró diferencia significativa en cuanto a producción de folículos  $-4.9$  en el grupo beta vs  $3.5$  en grupo control- ( $P < 0.08$ ) y una mayor actividad ovárica total  $-8.1$  en el grupo BETA vs  $6.3$  en el grupo CONT ( $P < 0.08$ ).

Otro dato significativo fue el número de cuerpos lúteos totales que aunque no fue diferente ( $P > 0.1$ ) entre los dos grupos experimentales ( $3.4$  vs  $2.8$ ), mostró una tendencia a un valor mayor en el grupo BETA.

Se ha reportado (Folman *et al.*, 1987) que el caroteno ha sido encontrado en las fracciones subcelulares del cuerpo lúteo en bovinos, y que al alimentar con  $\beta$ -caroteno a las vaquillas, se incrementó la progesterona plasmática después de un reto con gonadotropina coriónica en vaquillas preñadas, pero no en aquellas vacías. Así mismo (Weng *et al.*, 2000), observó que al proporcionar  $\beta$ -caroteno en la dieta, aumentó la concentración de progesterona en plasma y aceleró el tiempo de ovulación. En este experimento, los niveles séricos de progesterona no fueron iguales ( $P < 0.12$ ) entre ambos grupos, aunque existió una tendencia a ser superiores en el grupo BETA, lo que concuerda con los resultados de estos autores.



Por otra parte, se ha reportado (Folman *et al.*, 1987) que en vaquillas, el suplemento con  $\beta$ -caroteno incrementa la concentración pico de hormona luteinizante y la ovulación, lo que puede estar en correspondencia con la mayor producción de P4 ( $P < 0.05$ ) de las cabras del grupo BETA (5.5 ng/mL) respecto a las cabras del grupo CONT (4.5 ng/mL).

El  $\beta$ -caroteno puede servir para proteger a el cuerpo lúteo de los daños estructurales y funcionales causados de las especie reactivas de oxígeno y para soportar una actividad esteroidogénica óptima (Weng *et al.*, 2000). En este experimento se observó que no hubo diferencia ( $P < 0.06$ ) en el número de cuerpos lúteos totales, (3.4 BETA vs 2.8 CONT), aunque se observa una tendencia a un valor mayor en el grupo BETA.

En el experimento no se pudieron obtener datos de el efecto del  $\beta$ -caroteno más allá de los eventos reproductivos de la ovulación y la producción de cuerpos lúteos, ya que las hembras utilizadas no fueron preñadas por aspectos ajenos a la investigación. Estos resultados sugieren la necesidad de continuar investigado el efecto de este antioxidante sobre otros indicadores reproductivos como la tasa de fecundación, la capacidad de anidación, de supervivencia embrionaria, la relación de cabritos nacidos por monta y por preñez positiva.

## 7 Literatura citada

- Abdalla, E. B., E. A. Kotby y H. D. Johnson. 1993. Physiological responses to heat-induced hyperthermia of pregnant and lactating ewes. *Small Ruminant Research* 11: 125-134.
- Abdelatif, A. M. y M. M. M. Amhed. 1994. Water restriction, thermoregulation, blood constituents and endocrine responses in sudanese desert sheep. *Journal of Arid Environment* 26: 171-180.
- Aganga, A. A. 1992. Water utilization by sheep and goats in northern nigeria. *World Animal Review* 73: 9-14.
- al-Katanani, Y. M., D. W. Webb y P. J. Hansen. 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-day nonreturn rate to first service in lactating holstein cows in a hot climate. *J Dairy Sci* 82: 2611-2616.
- Amoah, E. A. y S. Gelaye. 1997. Biotechnological advances in goat reproduction. *Journal of Animal Science* 75: 578-585.
- Amoah, E. A., S. Gelaye, P. Guthrie y C. E. Rexroad, Jr. 1996. Breeding season and aspects of reproduction of female goats. *Journal of Animal Science* 74: 723-728.
- Arbiza, A. S. I. 1986. Producción de caprinos. A.G.T. Editor, Mexico.
- Arechiga, C. F., A. D. Ealy y P. J. Hansen. 1995. Evidence that glutathione is involved in thermotolerance of preimplantation murine embryos. *Biol Reprod* 52: 1296-1301.
- Arechiga, C. F. y P. J. Hansen. 1998. Response of preimplantation murine embryos to heat shock as modified by developmental stage and glutathione status. *In Vitro Cell Dev Biol Anim* 34: 655-659.
- Arechiga, C. F., O. Ortiz y P. J. Hansen. 1994. Effect of prepartum injection of vitamin e and selenium on postpartum reproductive function of dairy cattle. *Theriogenology* 41: 1251-1258.
- Arechiga, C. F., C. R. Staples, L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998a. Effects of timed insemination and supplemental beta-carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J Dairy Sci* 81: 390-402.



- Arechiga, C. F., S. Vazquez-Flores, O. Ortiz, J. Hernandez-Ceron, A. Porras, L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998b. Effect of injection of beta-carotene or vitamin e and selenium on fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology* 50: 65-76.
- Arikan, S. y R. G. Rodway. 2000. Effects of high density lipoprotein containing high or low  $\beta$ -carotene concentrations on progesterone production and  $\beta$ -carotene uptake and depletion by bovine luteal cells. *Animal Reproduction Science* 62: 253-263.
- Beckman, K. B. y B. N. Ames. 1998. The free radical theory of aging matures. *Physiological Reviews* 78: 547-579.
- Bell, A. W., B. W. McBride, R. Slepatis, R. J. Early y W. B. Currie. 1989. Chronic heat stress and prenatal development in sheep: I. Conceptus growth and maternal plasma hormones and metabolites. *Journal of Animal Science* 67: 3289-3299.
- Butler, W. R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science* 60-61: 449-457.
- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, L. A. Israel y C. J. Wilcox. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J Dairy Sci* 65: 2213-2227.
- de Castro, T., E. Rubianes, A. Menchaca y A. Rivero. 1999. Ovarian dynamics, serum estradiol and progesterone concentrations during the interovulatory interval in goats. *Theriogenology* 52: 399-411.
- Devendra, C. 1980. Milk production in goats compared to buffalo and cattle in humid tropics. *Journal of Dairy Science* 63: 1755-1767.
- Devendra, C. 1987. Goats. In: H. D. Johnson (ed.) *Bioclimatology and the adaptation of livestock*. p 157-168. Elsevier, Amsterdam.
- Dreiling, C. E., F. S. Carman, 3rd y D. E. Brown. 1991. Maternal endocrine and fetal metabolic responses to heat stress. *J Dairy Sci* 74: 312-327.
- Du Preez, J. H., P. J. Hattingh, W. H. Giesecke y B. E. Eisenberg. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern african conditions. Iii monthly temperature- humidity index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. *Onderstepoort Journal veterinary Research* 57: 243-248.



- Du Preez, J. H., S. J. Terblanche, W. H. Giesecke, C. Maree y M. C. Welding. 1991. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under south african conditions. *Theriogenology* 35: 1039-1049.
- Ealy, A. D., C. F. Arechiga, D. R. Bray, C. A. Risco y P. J. Hansen. 1994. Effectiveness of short-term cooling and vitamin e for alleviation of infertility induced by heat stress in dairy cows. *J Dairy Sci* 77: 3601-3607.
- Ealy, A. D., M. Drost, C. M. Barros y P. J. Hansen. 1992. Thermoprotection of preimplantation bovine embryos from heat shock by glutathione and taurine. *Cell Biol Int Rep* 16: 125-131.
- Edey, T. N. 1969. Factors associated with prenatal mortality in the sheep. *J Reprod Fertil* 19: 386-387.
- El Aich, A. y A. Waterhouse. 1999. Small ruminants in environmental conservation. *Small Ruminant Research* 34: 271-287.
- Ferrel, C. L. y T. G. Jenkins. 1985. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *Journal of Animal Science* 61: 725-741.
- Folman, Y., I. Ascarelli, D. Kraus y H. Barash. 1987. Adverse effect of beta-carotene in diet on fertility of dairy cows. *J Dairy Sci* 70: 357-366.
- Gall, C. F. 1991. Breed differences in adaptation of goats. In: K. Maijala (ed.) *Genetic resources of pig, sheep and goat, world animal science*, b8. Elsevier, Amsterdam.
- Garland, T., Jr. y P. A. Carter. 1994. Evolutionary physiology. *Annu Rev Physiol* 56: 579-621.
- Goyal, S. P. y P. K. Ghosh. 1987. A note on the measurement of heat exchange by radiotelemetry in black desert goats during winter. *Journal of Agricultural Science (Camb)* 108: 509-510.
- Greife-Crandell, K. M., D. S. Kronfeld, L. S. Gay, D. Sklan, W. Tiegs y P. A. Harris. 1997. Vitamin a repletion in thoroughbred mares with retinyl palmitate or beta-carotene. *J Anim Sci* 75: 2684-2690.
- Greyling, J. P. 2000. Reproduction traits in the boer goat doe. 36: 171-177.
- Hansen, P. J. y C. F. Arechiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cows. *J Anim Sci* 77.

- Holmes, J. H., S. Prasetyo, H. M. Miller y E. A. Scheurmann. 1986. Effect of chronic heat load during pregnancy on birth weight, behaviour and body composition of australian feral goat kids. *Trop Anim Health Prod* 18: 185-190.
- Johnson, H. D. 1987. Bioclimates and livestock. In: H. D. Johnson (ed.) *Bioclimatology and adaptation of livestock*. p 3-16. Elsevier, Amsterdam.
- Johnson, H. D., R. Li, W. Manalu, K. J. Spencer-Johnson, B. A. Becker, R. J. Collier y C. A. Baile. 1991. Effects of somatotropin on milk yield and physiological responses during summer farm and hot laboratory conditions. *J Dairy Sci* 74: 1250-1262.
- Kawate, N., M. Akiyama, T. Suga, T. Inaba, H. Tamada, T. Sawada y J. Mori. 2001. Change in concentrations of luteinizing hormone subunit messenger ribonucleic acids in the estrous cycle of beef cattle. *Anim Reprod Sci* 68: 13-21.
- Kawate, N., N. Monrita, M. Tsuji, H. Tamada, T. Inaba y T. Sawada. 2000a. Roles of pulsatile release of lh in the development and maintenance of corpus luteum function in the goat. *Theriogenology* 54: 1133-1143.
- Kawate, N., N. Morita, M. Tsuji, H. Tamada, T. Inaba y T. Sawada. 2000b. Anovulation to a luteinising hormone surge in an aged goat with follicular cysts. *Vet Rec* 147: 272-274.
- Khan, M. S. y P. K. Gosh. 1989. Physiological responses of desert sheep and goats to grazing during summer and winter. *Indian Journal of Animal Sciences* 59: 600-603.
- Khan, M. S., P. K. Gosh y T. O. Sasidharan. 1978. Effect of acute water restriction on plasma proteins and on blood urinary electrolytes in barmer goats of the rajasthan desert. *J agric Sci (Camb)* 91: 395-398.
- Lu, C. D. 1989. Effects of heat stress on goat production. *Small Ruminant Reserarch* 2: 151-162.
- Malayer, J. R. y P. J. Hansen. 1990. Effect of in vitro heat shock upon the synthesis and secretion of prostaglandines and protein by uterine and placental tissues of the sheep. *Theriogenology* 34: 231-249.
- Maltz, E. y A. Shkolnik. 1980. Milk production in the desert: Lactation and water economy in the black bedouin goat. *Physiological Zoology* 53: 12-18.

- Maltz, E., N. Silanikove y A. Shkolnik. 1982. Energy cost and water requirement of black bedouin goats at different levels of production. *Journal of Agricultural Science (Camb)* 98: 499-504.
- Mason, I. L. 1991. Classification and distribution of goat breeds. In: K. Maijala (ed.) *Genetic resources of pig, sheep and goat, world animal science No. B8*. p 411-413. Elsevier, Amsterdam.
- Mathur, B. K., J. P. Mittal, A. C. Mathur y M. C. Bhandari. 1991. Effect of drought on wool production in chokla and nali sheep maintained on desert rangeland. *Journal of Animal Science* 61: 80-83.
- Mazcorro, V. E., H. J. De la Fuente, E. M. L. Jiménez y H. M. González. 1991. La producción agropecuaria en la Comarca Lagunera. Su evolución reciente: 1960 - 1990. U.A.Ch., México.
- McCracken, J. A., E. E. Custer y J. C. Lamsa. 1999. Luteolysis: A neuroendocrine-mediated event. *Physiol Rev* 79: 263-323.
- Montaldo, H., A. Juárez, J. M. Berruecos y F. Sánchez. 1995. Performance of local goats and their backcrosses with several breeds in Mexico. *Small Ruminant Research* 16: 97-105.
- Morand-Fher, P. y J. Boyazoglu. 1999. Present state and future outlook of the small ruminant sector. *Small Ruminant Research* 34: 175-188.
- Nagy, K. A. 1994. Seasonal water, energy and food use by free-living, arid-habitat mammals. *Aust. J. Zool* 41: 55.
- Nonnecke, B. J., R. L. Horst, W. R. Waters, P. Dubeski y J. A. Harp. 1999. Modulation of fat-soluble vitamin concentrations and blood mononuclear leukocyte populations in milk replacer-fed calves by dietary vitamin a and beta-carotene. *J Dairy Sci* 82: 2632-2641.
- Nozawa, K. 1991. Domestication and history of goats. In: K. Maijala (ed.) *Genetic resources of pig, sheep and goat, world animal science, b8*. p 391-404. Elsevier, Amsterdam.
- Oldham, E. R., R. J. Eberhart y L. D. Muller. 1991. Effects of supplemental vitamin A or beta-carotene during the dry period and early lactation on udder health. *J Dairy Sci* 74: 3775-3781.



- Robinson, N. A., K. E. Leslie y J. S. Walton. 1989. Effect of treatment with progesterone on pregnancy rate and plasma concentrations of progesterone in holstein cows. *J Dairy Sci* 72: 202-207.
- SAS. 1991. Stat user's guide. SAS, Instituto, Inc., Cary, N.C.
- Saucedo, M. P. 1984. Historia de la ganadería en México. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Schacht, W. H., J. R. Kawas y J. C. Malechek. 1992. Effects of supplemental urea and molasses on dry season weight gains of goats in semiarid tropical woodland, Brazil. *Small Ruminant Research* 7: 235-244.
- Schmidt Jr, R. H. 1989. The arid zones of Mexico: Climate extremes and conceptualization of the Sonoran desert. *Journal of Arid Environment* 16: 241-256.
- Schweigert, F. J., I. Buchholz, A. Schuhmacher y J. Gropp. 2001. Effect of dietary beta-carotene on the accumulation of beta-carotene and vitamin A in plasma and tissues of gilts. *Reprod Nutr Dev* 41: 47-55.
- Sharma, K. D. 1991. Water resources - an overview of the world deserts. *Agriculture* 30: 283-300.
- Shearer, J. K. y D. K. Beede. 1990. Heat stress. 2. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice* 11.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research* 35: 181-193.
- Sinn, R., J. Ketzis y T. Chen. 1999. The role of woman in the sheep and goat sector. *Small Ruminant Research* 34: 259-269.
- Smith, O. B. y O. O. Akinbamijo. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science* 60-61: 549-560.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how is it measured? *Journal of Animal Science* 52: 150-153.
- Trout, J. P., L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998. Characteristics of the estrous cycle and antioxidant status of lactating Holstein cows exposed to heat stress. *J Dairy Sci* 81: 1244-1250.
- von Borell, E. 1995. Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance of farm animals. *Applied Anim and Behavioural Science* 44: 219-227.

- Weng, B. C., B. P. Chew, T. S. Wong, J. S. Park, H. W. Kim y A. J. Lepine. 2000. Beta-carotene uptake and changes in ovarian steroids and uterine proteins during the estrous cycle in the canine. *J Anim Sci* 78: 1284-1290.
- West, J. W. 1999. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *J Anim Sci* 77: 21-35.
- Wolfenson, D., Z. Roth y R. Meidan. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science* 60-61: 535-547.
- Zhang, C., M. A. Williams, S. E. Sanchez, I. B. King, S. Ware-Jauregui, G. Larrabure, V. Bazul y W. M. Leisenring. 2001. Plasma concentrations of carotenoids, retinol, and tocopherols in preeclamptic and normotensive pregnant women. *Am J Epidemiol* 153: 572-580.