

Universidad Autónoma Agraria  
“Antonio Narro”

Unidad Laguna  
División Regional de Ciencia Animal



Efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica y los niveles séricos de hormona de crecimiento, hormona luteinizante, progesterona e insulina en cabras en la Región Lagunera

Por:

José Luis Marroquín Aguirre

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Médico Veterinario Zootecnista

Torreón, Coahuila,

Junio de 2002

Universidad Autónoma Agraria  
“Antonio Narro”

Unidad Laguna  
División Regional de Ciencia Animal



Efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica y los niveles séricos de hormona de crecimiento, hormona luteinizante, progesterona e insulina en cabras en la Región Lagunera

Por:

José Luis Marroquín Aguirre

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Médico Veterinario Zootecnista

Torreón, Coahuila,

Junio de 2002

Universidad Autónoma Agraria  
"Antonio Narro"

Unidad Laguna  
División Regional de Ciencia Animal

Efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica y los niveles séricos de hormona de crecimiento, hormona luteinizante, progesterona e insulina en cabras en la Región Lagunera

Tesis

Aprobada por el Comité Particular de Asesoría

Presidente del Jurado

  
Dr. Rafael Rodríguez Martínez

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

M. V. Z. Ernesto Martínez Aranda

Torreón, Coah.

Junio de 2002

Efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica y los niveles séricos de hormona de crecimiento, hormona luteinizante, progesterona e insulina en cabras en la Región Lagunera

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el título de:

**Médico Veterinario Zootecnista**



Presidente: Dr. Rafael Rodríguez Martínez

Vocal: M.C. Gerardo Arellano Rodríguez



Vocal: M.C. Jorge Iturbide Ramírez



Vocal Suplente: M.C. José Luis Corona Medina

# DEDICATORIAS

## A LA MEMORIA DE MI ABUELITA

*SRA. ARMINDA GUZMÁN DE OCHOA*

Por ser una mujer que me dio todo su apoyo, porque cuando la tuve en mis brazos comprendí lo que realmente quieres a un ser y que desafortunadamente se fue, le dedico esta tesis porque se lo prometí y le dije que si se quiere si se puede. Abue te quiero mucho.

## A MI MAMÁ

Por ser una persona que me dio la vida, que me saco adelante cuando mas lo necesitaba, porque tuvo la confianza en mi, porque respeta mis decisiones siempre, por todas esas cosas te Amo mama.

## A LUIS RUIZ BENITEZ

Por ser como un padre, por guiarme por el buen camino de la vida, por todo su apoyo brindado desinteresadamente y porque cuando lo he necesitado ha estado ahí. Por todo lo anterior, mil gracias.

## A MIS HERMANOS

A mis hermanos Martha Alicia, Ramiro Eduardo, Marisela Aidé y Myriam Alejandra Marroquín Aguirre, por haberme ayudado cuando lo necesité, por el apoyo moral brindado durante toda la carrera, así mismo por tenerme la confianza de siempre y ojalá y por toda la vida así sea. Los quiero

## A MIS SOBRINAS

Daniela  
Dévora  
Damaris

Y a mi próximo sobrino que viene en camino de mi hermana Myriam Alejandra, que seguro estoy le van a gustar los animales como a un servidor.

## A MI NOVIA SANDRA

Por haberme apoyado en las buenas y en las malas durante el tiempo que he estado con ella, por ser una persona muy noble, porque yo se que en dondequiera que este le va a ir muy bien como profesionista. Mi amor te quiero mucho.



## A LA MEMORIA DE MI TÍO

*SR. VICTORIANO OJEDA*

Por haber sido una persona que sin tener conocimiento de ciencias relacionadas a la Medicina Veterinaria y Zootecnia, me enseñó a comprender que la nobleza y belleza transmitida de los animales, y que es mas grande que la del ser humano.

## A MIS TIOS

Antonio, Arnulfo y Adrián Aguirre Guzmán.

Porque cuando los necesite, estuvieron presentes, por el apoyo incondicional brindado, por estar unidos siempre y que así sigan por el resto de sus vidas.

A tía Mari por el apoyo brindado desinteresadamente en mi Investigación y por ser una gran persona de admiración.

A la señora Carmelita, por ser una persona que me ha ayudado mucho durante la carrera, por ser una muy buena amiga y por la confianza que demostró.

A mi amiguísima Lucy, por todo lo que pasamos en la universidad y fuera de ella, por el apoyo que me dio cuando lo necesite y a mi amiga Laura que en donde quiera que se encuentre que le vaya muy bien a ella y a su hija.

## A MIS AMIGOS

Al M.V.Z. Jarquin, Karin, Omar, Fidel, Luis Alonso, Marcos, Verdín, Arturo Sneider, a Salo, Jorge Armendáriz, Rigo, a los Comparres Miguel y Koque, a Linares a los jinetes de Rodeo y a todo el grupo de la Sección "C" por todo lo que vivimos durante la carrera, suerte para todos.

## AGRADECIMIENTOS

A dios mi señor por permitirme culminar mi meta propuesta, por darme la existencia y porque sin el no hubiera terminado la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

A mi ALMA MATER, por ser una universidad muy noble y por permitirme concluir satisfactoriamente la carrera, por ser una de las mejores en el país y por haberme enseñado mucho durante su estancia de cinco años.

Al Dr. Rafael Rodríguez Martínez no solo por ser mi asesor si no por ser un gran amigo y un gran maestro, que se preocupa por el bienestar de la universidad y por darme el apoyo desinteresadamente durante el lapso de la carrera y por tenerme la confianza para realizar las actividades correspondientes dentro y fuera de la universidad. A su esposa Juanita por apoyarme incondicionalmente durante la investigación, a los dos mil gracias.

Al Dr. Jorge Iturbide Ramírez al M.C. Gerardo Arellano Rodríguez, al M.C. Alejandro Moreno Reséndez, al M.C. José Luis Corona Medina y a todos los maestros que componen esta universidad, por enseñarme lo que es una universidad con futuro y porque estoy seguro que en las manos que quede la Narro prosperará y fructificará, que así sea por el bien de todos.

A todos los que me apoyaron para culminar la tesis, al Dr. Cesar Meza Herrera, asesor externo de este trabajo y sus colaboradores de la Universidad de Chapingo, que hicieron un gran trabajo en conjunto con la Narro para la mejor preparación de los alumnos de ambas Universidades.

A mi amigo Omar Loyo por el apoyo incondicional y a los compadres Héctor Cruz y Jesús Quezada, los exhorto que sigan adelante.

# 1 Índice

1	ÍNDICE .....	1
2	RESUMEN.....	2
3	INTRODUCCIÓN .....	3
3.1	LAS CABRAS EN MÉXICO.....	3
3.2	LAS CABRAS Y SU CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN A LAS ZONAS ÁRIDAS .....	4
3.3	EL DESIERTO CHIHUAHUENSE. ....	10
3.3.1	<i>La Comarca Lagunera como parte del Desierto Chihuahuense</i> .....	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 .....	20
3.7	LOS ANTIOXIDANTES Y LA REPRODUCCIÓN.....	23
3.8	EL $\beta$ -CAROTENO Y LA REPRODUCCIÓN .....	25
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5	RESULTADOS.....	31
6	DISCUSIÓN .....	33
7	LITERATURA CITADA .....	35



## 2 Resumen

Se evaluó el efecto de la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica total (AOT) y los niveles séricos de hormona del crecimiento (GH), hormona luteinizante (LH), progesterona (P4) e insulina (INS) en cabras de la Comarca Lagunera. Las cabras fueron distribuidas en dos grupos experimentales,  $\beta$ -caroteno (BETA) y control (CONTR). Las cabras tuvieron libre acceso a agua, sales minerales y sombra y su alimentación consistió 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 implantes de esponjas impregnadas de progesterona con un aplicador para inserción de las esponjas vaginales con una posterior aplicación de cloprostenol, producto sintético análogo de  $\text{PGF2}\alpha$ , a razón de  $0.075\text{mg cabra}^{-1}$ . El tratamiento BETA consistió en una suplementación de 50 g/ día de betacaroteno durante todo el período experimental. El día 18 post-estro se realizó un muestreo intensivo de sangre en cinco cabras por tratamiento a intervalos de 15 min. Durante un período de 6 h, mediante punción yugular obteniéndose el suero sanguíneo. Se determinaron los niveles séricos de hormona del crecimiento (GH), hormona luteinizante (LH), progesterona (P4) e insulina mediante RIA. El día 18 post-ovulación la actividad ovárica total fue determinada a través de un estudio ultrasonográfico. Las cabras suplementadas con  $\beta$ -caroteno tuvieron una mayor actividad ovárica total ( $P < 0.08$ ) -8.1-, respecto a las cabras del grupo control -6.3-, mientras que los niveles séricos de GH y de LH fueron menores a los del grupo control ( $P < 0.01$ ) 14.3 vs 10.1  $\text{ng mL}^{-1}$  y 5.2 vs 1.7 respectivamente, mientras que los niveles de INS fueron mayores para el grupo BETA ( $P < 0.01$ ), con 4.4 vs 3.9  $\text{ng mL}^{-1}$ . Los cuerpos lúteos y los niveles séricos de P4 fueron iguales en ambos grupos

### 3 Introducción

#### 3.1 Las cabras en México

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 a partir 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 comercialmente 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-Francés de Francia, 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 *del pequeño tamaño de la 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 retrocruzas con las poblaciones locales, por lo tanto este rebaño es una sub población de las poblaciones locales de cabras mexicanas (Montaldo, *et al.*, 1995).

Existe la necesidad de investigar respecto a las consecuencias de mejorar las poblaciones de cabras locales en México con las razas utilizadas más comúnmente, con el fin de hacer un uso racional de los recursos genéticos para incrementar la eficiencia de los sistemas productivos de esta especie (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.

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

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.

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, *et al.*, 1996), 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).

En áreas de condiciones medio ambientales adversas, inadecuadas para la crianza de vacas, 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 criar 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 invernales a intervalos impredecibles son seguidos por una explosión de pastura exuberante, la cual puede durar un par de meses.

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

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

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, los cuales se encuentran muy separados entre sí (Abdelatif y Ahmed, 1994; Maltz y Shkolnik, 1980; Shkolnik, *et al.*, 1980).

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 pastear 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 supervivencia en condiciones extremas del medio ambiente (Amoah y Gelaye, 1997).

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-Fehr 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, 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 el ganado, asegura que los pequeños rumiantes contribuyen más a la diversificación de la economía que otras empresas ganaderas (El Aich y Waterhouse A., 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).

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 A., 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-Fehr 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 el ganado y frecuentemente más numerosas que las ovejas; por otra parte, el ganado es más numeroso 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-Fehr 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).

La reproducción en cabras es eficiente y determinado 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 ciclo estral y el periodo infértil posparto (Greyling, 2000).



Sin embargo existe una gran cantidad de estudios que determinan como 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; duPreez, *et al.*, 1990; Johnson, *et al.*, 1991), en la disminución del peso al nacimiento (Bell, *et al.*, 1989; Dreiling, *et al.*, 1991), menos fecundidad (duPreez, *et al.*, 1991), pobre velocidad de crecimiento (duPreez, *et al.*, 1990) disminución en la producción de lana (Mathur, *et al.*, 1991) y mortalidad periódica (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), así como la PGF<sub>2α</sub> uterina, la cual puede interrumpir la preñez por estrés calórico en el ganado (Malayer, *et al.*, 1990).

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 período del estro, retención placentaria, reducción y disminución temporal de la fertilidad (duPreez, *et al.*, 1990). Se ha señalado (von Borell, 1995) que el período durante los primeros días de preñez, especialmente hasta la implantación del feto 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 hipofisarias, 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. La pubertad puede ser definida, en diferentes formas, una de ellas es la edad de la hembra en la cual el estro es detectado por primera vez y es seguida por una actividad ovárica cíclica características en el animal no preñado (Greyling, 2000).

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 superiores a 70, considerados como estresantes para el ganado (duPreez, *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.

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, 1978), 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 de 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 el ganado 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.*, 1998).

### **3.3 El Desierto Chihuahuense.**

En Norte América, 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), hasta México (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 m), 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. 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. Las condiciones de temperatura son relativamente templadas 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 con un rango de 14° a 23°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. 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).



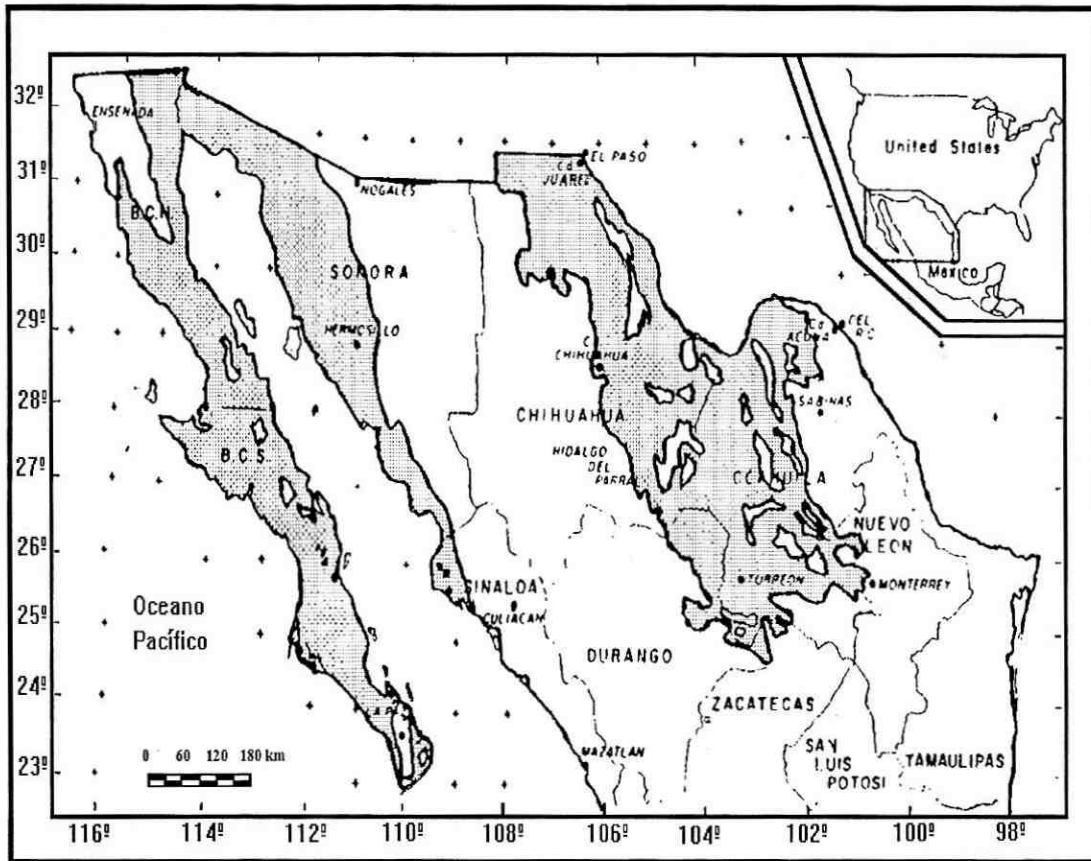


Figura 1. Ubicación geográfica de los desiertos de Chihuahua y de Sonora en la República Mexicana. Modificado de Schmidt (1989).

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

La Comarca Lagunera (Figura 1), 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).

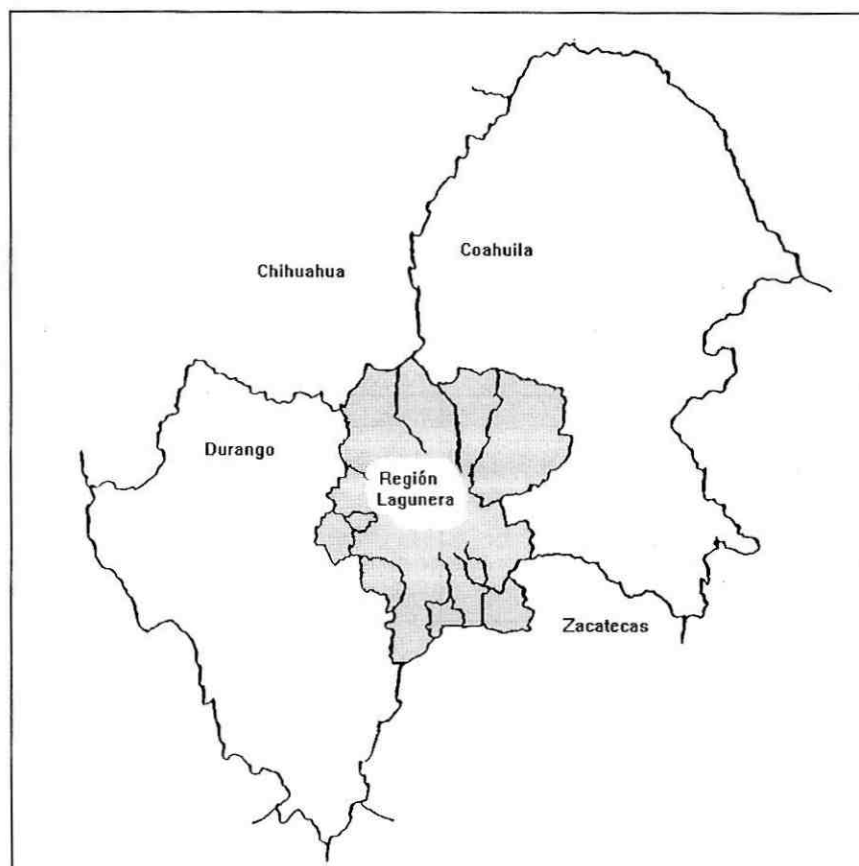


Figura 2 Ubicación geográfica de la Comarca o Región Lagunera, donde se aprecia su localización entre los estados de Durango y Coahuila, así como su colindancia con Chihuahua y Zacatecas.

Los datos anteriores, nos permiten ver 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 (duPreez, *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 e índices de temperatura humedad (THI) superiores a 70.5 y THI máximo registrado (Fuente de datos climáticos: Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE), Matamoros, Coah.)

Año	30 o más °C	25 o más °C	Temperatura máxima.	THI días	THI máxima	Días sin datos
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; Ferrell 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 el ganado 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 animales para consumo, los están haciendo menos capaces para regular su temperatura corporal (Hansen y Aréchiga, 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% 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 índice de temperatura humedad 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**

El estrés calórico también afecta a 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 Aréchiga, 1999; Wolfenson, *et al.*, 2000).

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, 1998).

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 (Aréchiga, 1998). 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 incremento en la secreción de cortisol el cual bloquea el comportamiento sexual (Hansen y Aréchiga, 1999).

Existen diferentes formas en las que el estrés calórico maternal puede disminuir la fertilidad del ganado: 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 Aréchiga, 1999).

Dentro de los efectos dañinos del estrés calórico sobre el 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 (Aréchiga 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 (Aréchiga, 1998), 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 (Aréchiga, 1997).

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 Aréchiga, 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 (Aréchiga 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) (Aréchiga, *et al.*, 1998; Hansen y Aréchiga, 1999).

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 (Aréchiga, 1998), probablemente debido a la duración de éste, ya que se ha reportado (Hansen y Aréchiga, 1999) que durante el verano, se observan menos intentos de monta entre vacas (4.5), que durante el invierno (8.6).

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

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 (Aréchiga, *et al.*, 1998), 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 (Aréchiga, 1997).

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 (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 reductasa, dehidroascorbato reductasa) 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 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, *et al.*, 1998; Ealy, *et al.*, 1994).

Los carotenoides son importantes para los humanos y otros animales como precursores de vitamina A 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). Por otra parte al inyectar vitamina A (palmitato de retinol), 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 (Aréchiga, *et al.*, 1998b) La dieta de la Vitamina A como el palmitato de retinol, a una concentración comparable, presente en la leche comercial reemplazada, causa solamente un incremento modesto en las concentraciones de retinol en plasma (Nonnecke, 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, 1999).

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

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 carotenoides 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 (Aréchiga 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 (Aréchiga, 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, 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 (Aréchiga, *et al.*, 1998).

La administración de Vitamina E y Selenio incrementan la fertilidad en vacas, recibiendo de dos o más servicios. Una simple inyección preparto de Vitamina E y Selenio también incrementó la fertilidad (Aréchiga, 1997).



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 tuvo 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 las cabras, pudiera ser producidas 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, 1998).

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

La condición o estado de la vitamina A y el  $\beta$ -caroteno 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).

Las concentraciones de selenio pudieron ser mejoradas en vacas. Las actividades de glutatión peroxidasa GSH-Px pudieron ser propuestas como el mejor estimado del estado del selenio, porque la enzima es una función fisiológica del selenio Smith 1998., porque el 98% de la actividad de GSH-Px en la sangre es asociada con los eritrocitos Schohz y Hutchinsin 1979 (Enjalbert, 1999).

Por otra parte la transferencia placentaria de selenio tuvo que ser demostrada en el ganado porque la suplementación maternal de vacas en los incrementos de la gestación tardía tuvieron reservas de selenio en el hígado de los fetos o de los recién nacidos (Enjalbert, 1999).

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 el  $\beta$ -caroteno pudo ser observado y que los metabolitos de Vitamina A, incremento la supervivencia en embriones de cerdo e incremento el desarrollo de embriones de bovinos en el estado de blastocitos (Aréchiga, 1998).

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

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. (17 B) Por lo general, las concentraciones plasmáticas de  $17 \beta$ -estradiol fueron mayores durante el periodo ovulatorio (Weng, *et al.*, 2000).

Sin embargo cuerpo luteo desarrolla un folículo de grafin después de la ovulación y secreta progesterona 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 esterediogénica 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 correlación positivas entre plasma de caroteno tocoferol y colesterol son muy interesantes porque en el ganado es conducido en la sangre para la alta densidad de lipoproteínas (Folman, *et al.*, 1987).

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).

Wang encontró que el alimento de  $\beta$ -caroteno en vaquillas incrementa el tiempo de intervalos de prostaglandinas  $PGF_{2\alpha}$  tratamiento para estros, el pico de la concentración de la hormona leuteinizada y la ovulación disminuye el intervalo de estro en 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). El efecto de la suplementación con  $\beta$ -caroteno sobre la fertilidad ha sido un tema controversial. Se han encontrado respuestas benéficas de vacas en lactación y otros no. En reportes encontrados por la suplementación con  $\beta$ -caroteno tiene un efecto adverso sobre la fertilidad (Aréchiga, *et al.*, 1998a).

Los resultados en ovejas son controversiales. Acerca de este fenómeno Abeyawardene reportó un pico preovulatorio de estradiol, ocurriendo después del estro y otro pico de menos magnitud entre los días 4 y 7 del ciclo estral (de Castro, *et al.*, 1999).



Durante el ciclo ovulatorio los bovinos y ovinos, en adición el pico preovulatorio en plasma por la concentración de estradiol, esto ocurrió en un segundo pico de baja magnitud a los 4 o 6 días más tarde (de Castro, *et al.*, 1999). El estradiol refuerza el GnRH estimulado desde las células (AP), con un incremento en el número de receptores de GnRH (Hashizume, 2002).

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 ganado caprino, para lo cual, se evaluó la producción de folículos totales, cuerpos lúteos totales, actividad ovárica total, y los niveles séricos de hormona del crecimiento, hormona luteotrópica e insulina, en cabras suplementadas y no suplementadas con este antioxidante en la Comarca Lagunera.

#### 4 Materiales y métodos

Para evaluar el efecto de la suplementación en la dieta con  $\beta$ -caroteno sobre la actividad ovárica se utilizaron 22 cabras de raza Alpina, Saanen , Thogenburg, Granadina y encastadas, de la Comarca Lagunera 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 (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 grupos 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 46.208 ( $\pm$  5.87 kg).

El día 16, todas las cabras fueron sometidas a sincronización mediante la aplicación de una esponja impregnada de progesterona (Intervet, International, B.V., Boxmeer-Holland) con un aplicador para inserción de las esponjas vaginales (Intervet, International B.V., France). El día 24 se aplicó Cloprostenol (Prosolvín C<sup>R</sup>, Intervet International B.V., Boxmeer-Holland), que es un producto sintético y análogo de PGF<sub>2</sub> $\alpha$  a razón de 0.075 mg/cabra<sup>1</sup>. El día 27, se removieron las esponjas de progesterona, presentándose el estro el día 29 del experimento.

Las cabras del grupo BETA, fueron suplementadas con 50 g diarios de  $\beta$ -caroteno (Roche Vitaminas México, S.A. de C.V. Guadalajara Jalisco, México) durante todo el período experimental, mientras que las cabras del grupo CONT no lo recibieron.

El día 18 post-estro se realizó un muestreo de sangre cinco cabras por tratamiento a intervalos de 15 minutos durante un período de 6 horas, 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 y almacenaron en congelación (-18°C) hasta su análisis posterior en microtubos de polipropileno MCT-150-C (Axigen<sup>R</sup> Scientific, INC., Unión City, CA., USA) de 1.5ml.

Para la determinación de hormona de crecimiento (GH), hormona leuteinizante (LH), progesterona (P4) e insulina se utilizó radio inmuno análisis (RIA por sus siglas en inglés) y la actividad ovárica (Folículos totales -FT-, cuerpos lúteos totales -CLT- y actividad ovárica total -AAT-) fue medida el día 18 post-ovulación del segundo estro respecto a la sincronización, mediante ultrasonografía.

Los datos del experimento se analizaron mediante mínimos cuadrados de varianza, usando el procedimiento Modelo General Linear (SAS, 1991) El modelo matemático usado para el análisis de los datos, incluyó los efectos principales del tratamiento sobre las variables dependientes: producción de folículos totales, cuerpos lúteos totales, actividad ovárica total, y los niveles séricos de hormona del crecimiento, hormona luteotrópica e insulina.



## 5 Resultados

Para evaluar el efecto que la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre el comportamiento reproductivo de en ganado caprino, 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 Betacaroteno (Beta) y en cabras testigo (CONTR) de la Comarca Lagunera

Variabes	BETA	CONTR	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	8.1 <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> EE, error estándar de medias de mínimos cuadrados más conservador

<sup>3</sup> Nivel de significancia observado.

En relación con la actividad ovárica total y los indicadores hormonales, se encontró que además de las diferencias en la primera variable, ya analizada en el Cuadro 1, tanto la hormona del crecimiento como la hormona luteotrópa y la insulina, tuvieron niveles séricos estadísticamente diferentes entre ambos grupos, siendo menores los niveles de hormona del crecimiento y de luteotrópa en el grupo CONT y mayores los de insulina en el grupo BETA.

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados para actividad ovárica total (AOT) y concentraciones séricas ( $\text{ng mL}^{-1}$ ) de hormona del crecimiento (GH), hormona luteinizante (LH), e insulina (INS) el día 18 del ciclo estral en cabras con Betacaroteno (Beta) y en cabras testigo (CONTR) de la Comarca Lagunera

Variables	BETA	CONTR	NSO <sup>2</sup>	EE <sup>3</sup>
AOT	8.1 <sup>a</sup>	6.3 <sup>b</sup>	0.08	1.4
GH	10.1 <sup>a</sup>	14.3 <sup>b</sup>	0.01	1.0
LH	1.7 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	0.02	0.8
INS	4.4 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	0.03	0.5

<sup>1</sup> Al no existir interacción entre efectos simples, 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.

Por último, en el Cuadro 3 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 3. Medias de mínimos cuadrados para cuerpos lúteos totales (CLT) y niveles séricos ( $\text{ng mL}^{-1}$ ) de progesterona (P4), los días 4, 8 12 y 16 del ciclo estral en cabras con Betacaroteno (Beta) y en cabras testigo (CONTR) de la Comarca Lagunera

Variables	BETA	CONTROL	NSO <sup>1</sup>	EE <sup>2</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>	0.12	0.3

<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.

## 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.

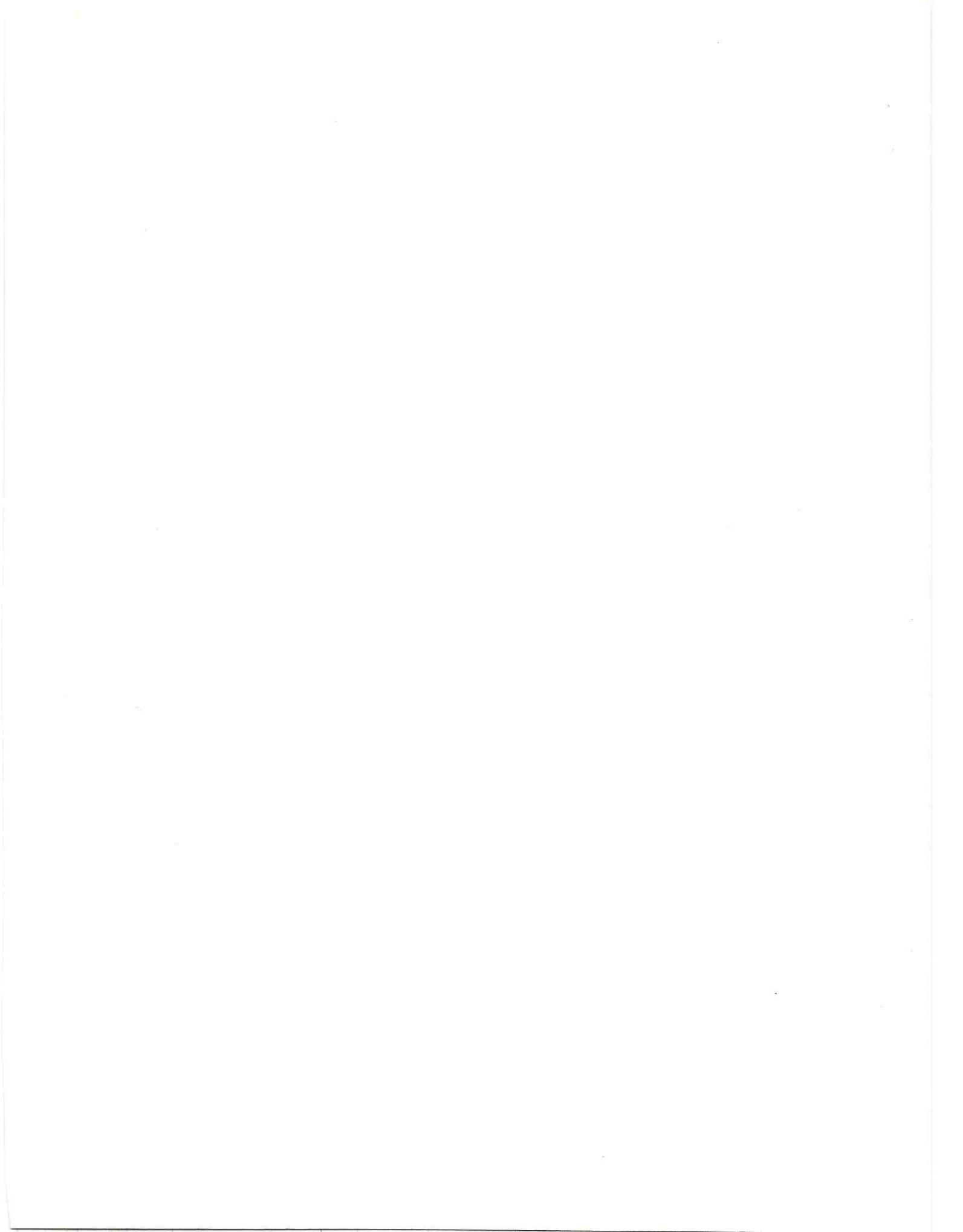
Para evaluar el efecto la suplementación de  $\beta$ -caroteno sobre el comportamiento reproductivo del ganado caprino, se evaluaron diferentes indicadores morfológicos y hormonales en cabras suplementadas y no suplementadas con este antioxidante, lo que pudiera ser una estrategia para aumentar los índices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

(Folman, *et al.*, 1987) encontraron que el  $\beta$ -caroteno las fracciones subcelulares del cuerpo lúteo en los bovinos. y al suplementar  $\beta$ -caroteno a vaquillas, incrementó los niveles plasmáticos de la progesterona por una gonadotropina coriónica en vaquillas preñadas, pero no dentro de sus ciclos. Así mismo (Weng, *et al.*, 2000), observó que al proporcionar betacaroteno en la dieta, aumentó la concentración de progesterona en plasma y aceleró el tiempo de ovulación. En este experimento se observó que los niveles séricos de progesterona 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, el suplemento con  $\beta$ -caroteno en vaquillas, incrementa el tiempo de intervalos de prostaglandinas  $\text{PGF}_{2\alpha}$  tratamiento para estros, el pico de la concentración de la hormona leuteinizada y la ovulación disminuye el intervalo de estros (Folman, *et al.*, 1987).

El  $\beta$ -caroteno puede servir para proteger el cuerpo lúteo desde los daños estructurales y funcionales de los reactivos de especie de oxígeno y para soportar una actividad óptima esterediogénica (Weng, *et al.*, 2000). En este experimento se observó que no hubo significancia respecto al número de cuerpos lúteos totales, puesto que 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.

En el experimento no pudimos seguir el efecto del  $\beta$ -caroteno más allá de los eventos reproductivos de la ovulación, ya que las hembras utilizadas no fueron preñadas por aspectos ajenos a la investigación. Es necesario que se determine en estudios complementarios. El efecto de este antioxidante sobre otros indicadores reproductivos como la tasa de fecundación, la capacidad de anidación y de supervivencia embrionaria y la relación de nacidos por exposición y por preñez.

## 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 Res.* 11:125.
- Abdelatif, A. M. y M. M. M. Ahmed. 1994. Water restriction, thermoregulation, blood constituents and endocrine responses in Sudanese desert sheep. *J. Arid Environ.* 26:171.
- Aganga, A. A. 1992. Water utilization by sheep and goats in northern Nigeria. *World Animal Review, FAO.* 73:9.
- 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.* 82:2611-6.
- Amoah, E. A. y S. Gelaye. 1997. Biotechnological advances in goat reproduction. *J Anim Sci.* 75:578-85.
- Amoah, E. A., S. Gelaye, P. Guthrie y C. E. Rexroad, Jr. 1996. Breeding season and aspects of reproduction of female goats. *J Anim Sci.* 74:723-8.
- Arbiza, A. S. I. 1986. Producción de caprinos. Editor, S.A. México.
- Aréchiga. 1997. Effect of injection of  $\beta$ -carotene or vitamin e and selenium on Fertility of Lactating Dairy cows. *Theriogenology.* 50:65-76.
- Aréchiga, C. F. 1998. Effects of Timed Insemination and Supplemental  $\beta$ -caroteno on Reproduction and Milk Yield of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 81:390-402.
- Arechiga, C. F., A. D. Ealy y P. J. Hansen. 1995. Evidence that glutathione is involved in thermotolerance of preimplantation murine embryos. *Biol Reprod.* 52:1296-301.
- 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.* 34:655-9.



- Aréchiga, C. F. y P. J. Hansen. 1998. Response of preimplantation murine embryos to heat shock as modified by developmental stage and glutathione status. *Society for In Vitro Biology*. 34:655-659.
- Aréchiga, 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.
- Aréchiga, C. F., C. R. Staples, L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998a. Effects of timed insemination and supplemental b-carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J Dairy Sci*. 81:390-402.
- Aréchiga, C. F., S. Vázquez-Flores, O. Ortiz, J. Hernández-Ceron, A. Porras, L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998. Effect of injection of beta-carotene or vitamin E and selenium on fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology*. 50:65-76.
- Aréchiga, C. F., S. Vázquez-Flores, O. Ortiz, J. Hernández-Cerón, A. Porras, L. R. McDowell y P. J. Hansen. 1998b. Effect of injection of b-carotene or vitamina 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 b-carotene concentrations on progesterone production and b-carotene uptake and depletion by bovine luteal cells. *Anim Reprod Sci*. 62:253-263.
- Beckman, B. K. y N. B. Ames. 1998. The free radical theory of ageing matures. *The american physiological society*. 78:547-581.
- 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. *J Anim Sci*. 67:3289-99.
- Butler, W. R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim Reprod Sci*. 60-61:449-57.
- 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*. 65:2213-27.

- 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. *J. Dairy Sci.* 63:
- Devendra, C. 1987. *Bioclimatology and adaptation of livestock*. 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.* 74:312-27.
- duPreez, J. H., W. H. Giesecke y P. N. Hattingh. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern african conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort J. Vet.* 55:77.
- duPreez, 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.
- 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.* 77:3601-7.
- 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. Rept.* 16:125-131.
- Edey, T. N. 1978. Factors associated with prenatal mortality in the sehup. *J Reprod Fertil.* 19:386-387.
- El Aich, E. y Waterhouse A. 1999. Small ruminants in environmental conservation. *Small Ruminant Res.* 34:271-287.
- Enjalbert, F. 1999. Effects of Pre-or Postpartum Selenium Supplementation on Selenium Status in Beef Cows and Their Calves. *J. Animal Sci.* 77:223-229.

- Ferrell, C. L. y T. G. Jenkins. 1985. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *J Anim Sci.* 61:725-41.
- 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.* 70:357-66.
- Gall, C. F. 1991. Breed differences in adaptation of goats. En: K. Maijala. (Ed.) Genetic resources of pig, sheep and goat. En: Maijala, K. (ed.) Genetic resources of pig, sheep and goat. 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. *J. Agric. Sci.* 108:509.
- Greiwe-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. C. 2000. Reproduction traits in the Boer goat doe. *Small Ruminant Research.* 36:171-177.
- Hansen, P. J. y C. F. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J Anim Sci.* 77:36-50.
- Hashizume, T. 2002. Insulin-like Growth Factor I enhances gonadotropin-releasing Hormone-simulated luteinizing hormone release from bovine anterior pituitary cells. *Animal Reproduction Science.* 70:13-21.
- Holmes, J. H. G., 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 Pro.* 18:185.
- Johnson, H. D. 1987. Bioclimatology and adaptation of livestock. En: Johnson, H. D. (ed.) Bioclimates and livestock. 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.* 74:1250-62.

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.* 54:1133-43.

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.* 147:272-4.

Khan, M. S., P. K. Ghosh 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.* 91:394.

Khan, M. S. y P. K. Gosh. 1989. Physiological responses of desert sheep and goats to grazing during summer and winter. *Indian J. Anim. Sci.* 59:600.

Lu, C. D. 1989. Effects of heat stress on goat production. *Small Ruminant Res.* 2:151-162.

Malayer, J. R., P. J. Hansen, T. S. Gross y W. W. Tatcher. 1990. Regulation of heat shock-induced alterations in the release of prostaglandins by the uterin endometrium of cows. *Theriogenology.* 34:219.

Maltz, E. y A. Shkolnik. 1980. Milk production in the desert: Lactation and water economy in the black Bedouin goat. University of Chicago. Chicago.

Maltz, E., N. Silanikove y A. Shkolnik. 1982. Energy cost and water requirements of Black Bedouin goats at different levels of production. *J. Agric. Sci.* 98:499.

Mason, I. L. 1991. Classification and distribution of goat breeds. En: Maijala, K. (ed.) Genetic resources of pig, sheep and goat, world animal science. 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. *Indian J. Anim. Sci.* 61:80.

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. UACH. México.

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 Res.* 16:97.

Morand-Fehr, P. y J. Boyazoglu. 1999. Present state and future outlook of the small ruminant sector. *Small Ruminant Res.* 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. 1999. Modulation of Fat-Soluble Vitamin Concentrations and Blood Mononuclear Leukocyte Populations in Milk Replacer-Fed Calves by Dietary Vitamin A and B-carotene. *J. Dairy Sci.* 82:2632-2641.

Nozawa, K. 1991. Domestication and history of goats. En: Maijala, K. (ed.) *Genetic resources of pig, sheep and goat*. 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.* 74:3775-81.

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.* 72:202-7.

SAS. 1991. *STAT User's guide, Version 6.1*. SAS, Institute, 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. Kavas y J. C. Malechek. 1992. Effects of supplemental urea and molases on dry season weight gains of goats in semiarid tropical woodland, Brazil. *Small Ruminant Res.* 7:235.
- Schmidt Jr, R. H. 1989. The arid zones of Mexico: Climate extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 16:241.
- Sharma, K. D. 1991. Water resources -An overview of the world deserts. *Ann. Arid Zone.* 30:283.
- Shearer, J. K. y D. K. Beede. 1990. Heat stress, part 2. Effects of high environmental temperature on production, reproduction, and health of dairy cattle. *Agri-Practice.* 11:
- Shkolnik, A., E. Maltz y S. Gordin. 1980. Desert conditions and goat milk production. *J. Dairy Sci.* 63:1749.
- Silanikove, N. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Res.* 35:181-193.
- Sinn, R. 1999. The role of woman in the sheep and goat sector. *Small Ruminant Res.* 34:259-269.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how is it measured? *J Anim Sci.* 52:150-3.
- Trout, L. R. 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. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44:219.
- 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.* 78:1284-90.
- 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. *Anim Reprod Sci.* 60-61:535-47.