

Influence of body condition upon the reproductive performance of male goats treated with testosterone in northern Mexico

Influencia de la condición corporal sobre la respuesta reproductiva de machos cabríos tratados con testosterona en el norte de México

Edgar D. Valle-Moysen¹; Leonardo I. Vélez-Monroy²; Óscar Ángel-García¹; Leticia R. Gaytán-Alemán¹; Ma. De los Ángeles De Santiago-Miramontes^{1*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria. Periférico Raúl López Sánchez s/n. Torreón, Coahuila, México. C. P. 27054.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna. Av. José Santos Valdés número 1200, colonia Centro. Matamoros, Coahuila. C. P. 27440.

*Corresponding-author: E-mail: angelesdesantiago867@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to evaluate the reproductive performance of male goats with a different body condition score (BCS) and treated with testosterone at the end of the low sexual activity period in northern Mexico (26° N). Adult male goats (n=12) with a different BCS were divided into two groups (n=6 each, HBCS: High body condition score; 2.2 ± 0.1 and LBCS: Low body condition score; 1.6 ± 0.1) maintained for nine weeks (February 29 to April 31). Both groups received 25 mg of testosterone, applied intramuscularly every other day for 21 days. BCS (range: 1-4), intensity of sexual odor (range: 0-3), scrotal circumference, blood glucose and seminal quality were recorded weekly. In addition, sexual behavioral tests were conducted in each male, quantifying both appetitive and consummatory sexual behaviors. Increased ($P < 0.05$) performance was shown by the HBCS group regarding seminal quality, scrotal circumference, and blood glucose. Likewise, the LBCS group showed fewer appetitive behaviors ($P < 0.001$) than the HBCS group (57.6 vs. 42.3 %), as well as consummatory behaviors (72.2 vs. 27.7 %). In conclusion, an increase in BCS in male goats treated with testosterone improves scrotal circumference, sexual odor, blood glucose, seminal quality and appetitive and consummatory sexual behaviors.

Keywords: Goats, libido, body condition score, testosterone.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta reproductiva de machos cabríos con diferente condición corporal tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual en el norte de México (26° N). Se utilizaron 12 machos, divididos en dos grupos (n = 6 c/u), CCA: Condición Corporal Alta (2.2 ± 0.1) y CCB: Condición Corporal Baja; (1.6 ± 0.1), misma que se mantuvo durante nueve semanas (29 de febrero al 31 de abril). Ambos grupos recibieron 25 mg de testosterona, vía intramuscular cada 3^{er} día durante 21 días. Semanalmente se registraron, condición corporal (rango 1-4), intensidad del olor sexual (rango 0-3), circunferencia escrotal, glucosa sanguínea y calidad seminal. Además, se cuantificaron comportamientos sexuales apetitivos y de consumación. El grupo CCA fue superior ($P < 0.05$) en calidad de semen, circunferencia escrotal y glucosa sanguínea. Asimismo, el grupo CCA mostró superioridad ($P < 0.001$) en el porcentaje global de comportamientos sexuales apetitivos (57.6 vs. 42.3 %) y de consumación (72.2 vs. 27.7 %) sobre el grupo CCB. Se concluye que un incremento en la condición corporal en machos tratados con testosterona mejora la circunferencia escrotal, olor sexual, glucosa sanguínea, calidad seminal y los comportamientos sexuales apetitivos y de consumación.

Palabras clave: Caprinos, libido, condición corporal, testosterona.



Introduction

In northern Mexico, goat production is of particular importance from an economic and social point of view (Escareño et al., 2013), observing a reproductive seasonality throughout the year, which causes a variation in milk and kid production that affects the income of small producers (Mellado & Meza-Herrera, 2002; Aréchiga et al., 2008). In male goats, the period of low sexual activity occurs from January to April (Delgadillo et al., 2003; Carrillo, Meza-Herrera, & Véliz, 2010), while, in females, seasonal anestrus occurs from March to August, with the photoperiod being the main regulating factor of reproductive seasonality (Delgadillo, Canedo, Chemineau, Guillaume & Malpoux, 1999; Gatica, Celi, Guzmán, & Zarazaga, 2012; Delgadillo et al., 2015). The goat production system in the semi-desert region of northeastern Mexico bases its feeding on extensive grazing and is affected by the seasonal variation in the availability of native vegetation (Salinas-González et al., 2016), with a period of shortage lasting from the end of autumn to the end of spring. The bucks are grazed together with the females and when the quantity and quality of the grassland flora is inadequate, the consumption of protein and metabolizable energy is insufficient to satisfy the nutritional requirements of the goats (Cruz-Castrejón et al., 2007). A food restriction reduces the availability of nutrients for the growth, production and reproduction of animals, modifying their metabolism and use of energy (Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012; Dupont, Reverchon, Bertoldo, & Froment, 2014). This process decreases testosterone levels, whose influence on functions such as the development of male genitalia, spermatogenesis (Guan & Martin, 2017) and libido affects reproductive performance (Maurya, Sejian, Kumar, & Naqvi, 2010; Bustos & Torres-Díaz, 2012). Additionally, the function of androgens in the degree of stimulation emitted by males has been proven by demonstrating that bucks with higher testosterone levels trigger a greater sexual and ovulatory response in females (Álvarez & Zarco 2001). With the aim of increasing libido out of season in male goats, treatments administered in varying periods containing crystalline testosterone or testosterone cyclopentylpropionate have been used with good results, either as implants or intramuscularly applied (Iwata et al., 2000; Kanai et al., 1995; Croker, Butler, Johns, & McColm, 1982). In the arid northeast of Mexico, it has been reported that intramuscular administration of 25 mg of testosterone propionate every other day for 21 days increases libido and seminal quality in male goats during the time of low sexual activity (Luna-Orozco et al., 2012; Ángel-García et al., 2015). A factor that acts as a modulator in reproductive activity is the nutritional level that affects the metabolic state (Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012; Rosales-Nieto et al., 2011). While a prolonged drop in nutritional level contributes to reducing body

Introducción

En el norte de México, la producción caprina es de particular importancia desde el punto de vista económico y social (Escareño et al., 2013), observando una estacionalidad reproductiva a lo largo del año, lo que ocasiona una variación en la producción de leche y cabrito que repercute en los ingresos de los pequeños productores (Mellado & Meza-Herrera, 2002; Aréchiga et al., 2008). En los machos cabríos el periodo de baja actividad sexual ocurre de enero a abril (Delgadillo et al., 2003; Carrillo, Meza-Herrera, & Véliz, 2010), mientras que, en las hembras, el anestro estacional sucede de marzo a agosto, siendo el fotoperiodo el principal factor regulador de la estacionalidad reproductiva (Delgadillo, Canedo, Chemineau, Guillaume & Malpoux, 1999; Gatica, Celi, Guzmán, & Zarazaga, 2012; Delgadillo et al., 2015). El sistema de producción caprino del semi-desierto del noreste de México basa su alimentación en el pastoreo extensivo, y se ve afectado por la variación estacional de la disponibilidad de vegetación nativa (Salinas-González et al., 2016), con un periodo de escasez que se extiende desde el final del otoño hasta el final de la primavera. Los sementales son pastoreados junto con las hembras y cuando la cantidad y calidad de la flora del pastizal no es adecuada, ocasiona que el consumo de proteína y energía metabolizable sea insuficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de los caprinos (Cruz-Castrejón et al., 2007). Una restricción de alimento reduce la disponibilidad de nutrientes destinados al crecimiento, producción y reproducción de los animales, modificando su metabolismo y la utilización de energía (Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012; Dupont, Reverchon, Bertoldo, & Froment, 2014). Este proceso disminuye los niveles de testosterona, cuya influencia en funciones como el desarrollo de los genitales masculinos, la espermatogénesis (Guan & Martin, 2017) y la libido, repercute en el desempeño reproductivo (Maurya, Sejian, Kumar, & Naqvi, 2010; Bustos & Torres-Díaz, 2012). Adicionalmente, la función de los andrógenos en el grado de estimulación emitido por los machos ha quedado probado al demostrarse que los sementales con mayores niveles de testosterona desencadenan una mayor respuesta sexual y ovulatoria en las hembras (Álvarez & Zarco 2001). Con el objetivo de incrementar la libido a contra estación en los machos cabríos, se han utilizado con buenos resultados, tratamientos administrados en periodos variables, conteniendo testosterona cristalina o ciclopentilpropionato de testosterona, ya sea a manera de implantes o aplicados intramuscularmente (Iwata et al., 2000; Kanai et al., 1995; Croker, Butler, Johns, & McColm, 1982). En el noreste árido de México, se ha reportado que la administración intramuscular de 25 mg cada tercer día de propionato de testosterona durante 21 días incrementa la libido y la calidad seminal en los machos cabríos durante la época de baja actividad sexual (Luna-Orozco et al., 2012; Ángel-García et al., 2015). Un factor

condition score (BCS) and reproductive efficiency (Scaramuzzi et al., 2006; Flores-Najera et al., 2010), pre-breeding overfeeding (e.g., flushing) tends to increase reproductive indicators (De Santiago-Miramontes et al., 2011). Indeed, a decrease in BCS lengthened anestrus and decreased the ovulatory rate of multiracial female goats in northern Mexico (De Santiago-Miramontes, Malpoux, & Delgadillo, 2009). In male Red Sokoto goats in Nigeria, a higher BCS promoted greater testicular weight and size and, therefore, higher seminal volume (Akpa, Ambali, & Suleiman, 2013). In addition, in Merino rams in western Australia, it was shown that a low body mass reduces the efficiency of spermatogenesis, decreases sperm velocity and produces DNA damage which affects seminal quality (Guan, Malecki, Hawken, Linden, & Martin, 2014). Due to the above, the possible effect of BCS on the reproductive and sexual performance of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period was evaluated.

Materials and methods

The study was conducted in northeastern Mexico (26° 23' N and 104° 47' W) at 1,100 masl; the climate is semi-desert, and the photoperiodic variations range from 13:41 h of light during the summer solstice to 10:19 h during the winter solstice. Twelve adult male goats were used; before the study, they were in a semi-extensive system grazing the native flora from 1000-1900 h and returning to roofed pens during the night. On February 29, 2016 two groups were formed with different ($P < 0.05$) body weight (BW) and body condition score (BCS): Low Body Condition Score group (LBCS; $n=6$) with BW of 59.7 ± 2.7 kg and BCS of 1.6 ± 0.1 and High Body Condition Score group (HBCS; $n=6$) with BW of 58.4 ± 5.7 kg and BCS of 2.2 ± 0.1 . Table 1 shows the diet that was offered to each group from February 29 to April 31 to maintain BW and BCS. Water and mineral salts were offered *ad libitum*. Beginning April 13, both groups underwent a treatment with testosterone (Testosterone 50, Lab Brovel®, Mexico), applying intramuscularly (IM) 25 mg·animal⁻¹ every other day for 21 days (Ángel-García et al., 2015). Each group was located 400 m apart to avoid socio-sexual interactions.

Variables evaluated: Weekly, the following variables were recorded: BW by means of a 100-kg Roman spring scale; BCS by palpating the spinous and lateral processes, and the musculature, of the lumbar region of the spine and allocating a score from 1 to 4 (1 = very lean and 4 = fat) according to the technique described by Walkden-Brown, Restall, Scaramuzzi, Martin, and Blackberry (1997); scrotal circumference by measuring the widest point of the testicles with a flexometer; and blood glucose (mg·dl⁻¹) was quantified using a digital glucose meter (Fácil, Nipro Prestige®, USA; sensitivity of 20 - 600 mg·dl⁻¹), by placing one µl of blood on a test strip that was absorbed by capillarity; the sample

que actúa como modulador en la actividad reproductiva es el nivel nutricional que afecta el estado metabólico (Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012; Rosales-Nieto et al., 2011). Mientras que una baja prolongada en el nivel nutricional contribuye a reducir la condición corporal y la eficiencia reproductiva (Scaramuzzi et al., 2006; Flores-Najera et al., 2010), una sobrealimentación pre-empadre (v.g. flushing) tiende a aumentar los indicadores reproductivos (De Santiago-Miramontes et al., 2011). Efectivamente, una baja en la condición corporal alargó el anestro y disminuyó la tasa ovulatoria de hembras caprinas multirraciales del norte de México (De Santiago-Miramontes, Malpoux, & Delgadillo, 2009). En los machos cabríos Red Sokoto de Nigeria una mayor condición corporal promueve un mayor peso y talla testicular y, por lo tanto, mayor volumen seminal (Akpa, Ambali, & Suleiman, 2013). Además, en los moruecos del oeste de Australia, se demostró que una baja masa corporal reduce la eficiencia de la espermatogénesis, la velocidad espermática y produce daño en el ADN lo cual repercute en la en la calidad seminal (Guan, Malecki, Hawken, Linden, & Martin, 2014). Debido a lo anterior, se evaluó el posible efecto de la condición corporal sobre el desempeño reproductivo y sexual de machos cabríos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el noreste de México (26° 23' N y 104° 47' O) a 1,100 m de altitud; el clima es semidesértico, las variaciones fotoperiódicas son de 13:41 h de luz durante el solsticio de verano y de 10:19 h durante el solsticio de invierno. Se utilizaron 12 machos cabríos adultos que antes del estudio se encontraban en un sistema semi-extensivo pastoreando de la flora nativa de 1,000-1,900 h y volviendo a corrales techados durante la noche. El día 29 de febrero de 2016 se formaron dos grupos con diferente ($P < 0.05$) peso corporal (PC) y condición corporal (CC): Grupo Condición Corporal Baja (CCB; $n=6$) con PC de 59.7 ± 2.7 kg y CC de 1.6 ± 0.1 y grupo Condición Corporal Alta (CCA $n=6$) con PC de 58.4 ± 5.7 kg y CC de 2.2 ± 0.1 . En el Cuadro 1 se muestra la dieta que se ofreció a cada grupo del 29 de febrero al 31 de abril para mantener el PC y la CC., el agua y sales minerales se ofrecieron a libre acceso. A partir del 13 de abril, ambos grupos fueron sometidos a un tratamiento con testosterona (Testosterona 50, Lab Brovel®, México), aplicando vía intramuscular (IM) 25 mg·animal⁻¹, cada tercer día, durante 21 días (Ángel-García et al., 2015). Cada grupo se ubicó a una distancia de 400 m para evitar las interacciones socio-sexuales.

Variables evaluadas: Semanalmente se registraron el PC mediante una báscula romana de resorte con capacidad de 100 kg, la CC mediante palpación del grosor de la masa muscular y adiposa en el espacio entre

Table 1. Ingredients of the diet offered to two groups of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period in northern Mexico.**Cuadro 1. Ingredientes de la dieta ofrecida a dos grupos de machos caprinos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual en el norte de México.**

	LBCS Group (1.6 ± 0.1)/ Grupo CCB (1.6 ± 0.1)	HBCS Group (2.2 ± 0.1)/ Grupo CCA (2.2 ± 0.1)
Crude protein (%)/ Proteína cruda (%)	7.7	11.9
Metabolizable energy (Mcal·kg DM ⁻¹)/ Energía metabolizable (Mcal·kg MS ⁻¹)	2.2	2.5
Ingredients/Ingredientes		
Fodder corn (<i>Zea mays</i>) g/ Maíz forrajero (<i>Zea mays</i>) g	540	600
Fodder oats (<i>Avena sativa</i>) g/ Avena forrajera (<i>Avena sativa</i>) g	490	570
Rye Grass (<i>Lolium multiflorum</i>) g	59	520
Molasses g/ Melaza g	38	86
Commercial concentrate (18 % CP) g/ Concentrado comercial (18 % PC) g	---	750

was obtained by pricking the jugular vein at 0800 h of fasting. The intensity of sexual odor was evaluated according to the technique described by Walkden-Brown et al. (1997), which consists of smelling the back of the base of the horns at a distance of 15 cm (range 0-3; 0; neutral odor or no different from females or castrated males, 1) slight sexual odor, 2) moderate sexual odor and 3) strong sexual odor). To evaluate seminal quality, the semen of each male was collected with an artificial vagina by means of stimulating an estrogenized female (2 mg of estradiol cypionate via IM, every other day, Zoetis®, Mexico) recording: mount latency (time in seconds from the entrance of the male to a small pen until servicing an estrogenized female): volume of the ejaculate (mL): sperm concentration (10⁶·mL⁻¹) measured with a Spermacue® photometer (Mexitube), total sperm per ejaculate (concentration*volume), sperm motility range from 0 to 5 (0 = no movement and 5 = very fast progressive movement) and sperm viability (0 to 100 %; eosin-nigrosin staining).

Sexual behavior of the males: Sexual behavior tests were performed on each male (April 30 and May 1), putting each of them in contact with an estrogenized female in a 2 x 2 m pen for 20 minutes. The number of sexual behaviors, categorized by Fabre-Nys (2000); Tejada et al., 2017 and Calderon-Leyva et al., 2018, were quantified, considering: *Appetitive behaviors*: sniffs, approaches, kicks, flehmen, vocalizations, self-markings and unsheathings; *Consummatory behaviors*: mount attempts and mounts with service.

Statistical analysis: Body weight, body condition, sexual odor, scrotal circumference, blood glucose and seminal quality were analyzed by SAS PROC MIXED for

las apófisis espinosas y transversas de las vértebras lumbares, con rango de 1 a 4 (1 = emaciado y 4 = obeso) de acuerdo a la técnica descrita por Walkden-Brown, Restall, Scaramuzzi, Martin, y Blackberry (1997), la circunferencia escrotal, midiendo el punto más ancho de los testículos con un flexómetro, la glucosa sanguínea (mg·dl⁻¹) se cuantificó mediante un glucómetro digital (Fácil, Nipro Prestige®; EUA; sensibilidad de 20 - 600 mg·dl⁻¹), colocando un µl de sangre en una tira lectora que fue absorbida por capilaridad, la muestra se obtuvo por punción de la vena yugular a las 0800 h en ayuno. La intensidad de olor sexual se evaluó de acuerdo con la técnica descrita por Walkden-Brown et al. (1997), que consiste en oler la parte posterior de la base de los cuernos a una distancia de 15 cm (rango 0-3; 0; olor neutro o igual a hembras o macho castrado, 1) olor sexual ligero, 2) olor sexual moderado y 3) olor sexual intenso). Para evaluar la calidad seminal se colectó el semen de cada macho con vagina artificial mediante el estímulo de una hembra estrogenizada (2 mg de cipionato de estradiol vía IM, cada tercer día; Zoetis®, México) registrando: latencia a la monta (lapso en segundos desde la entrada del macho a una corraleta hasta el servicio de una hembra estrogenizada): volumen del eyaculado (mL): concentración espermática (10⁶·mL⁻¹) medida con un fotómetro Spermacue® (Mexitube), total de espermatozoides por eyaculado (concentración*volumen), motilidad espermática rango de 0 al 5 (0 = sin movimiento y 5 = movimiento progresivo muy rápido) y viabilidad espermática (0 a 100 %; tinción eosina-nigrosina).

Comportamiento sexual de los machos: Se realizaron pruebas de comportamiento sexual a cada macho (30 de abril y 1 de mayo), poniendo en contacto a cada uno de

samples repeated over time. The variables treatment, time and treatment x time interaction were considered as fixed effects; the animal nested in treatment was considered a random effect. A Student's T test was performed to determine differences in the mean and interactions (TTEST, SAS). In the appetitive and consummatory sexual behaviors, Fisher's test was used (FREQ, SAS, 2004).

Results and discussion

The results of this study show differences in the variables evaluated in favor of males with a higher BCS. The difference between groups in weight and BCS was maintained throughout the study ($P < 0.05$). Body weight: LBCS: 58.5 ± 0.6 , HBCS: 61.9 ± 0.6 kg and body condition LBCS: 1.4 ± 0.03 and HBCS: 2.4 ± 0.03 . Scrotal circumference and blood glucose serum levels showed differences ($P < 0.005$), and the intensity of sexual odor increased from the sixth week showing differences ($P < 0.005$); (Figure 1). According to a study by Walkden-Brown et al. (1997), scrotal circumference is considered as an indicator of reproductive capacity. Sperm production correlates with testicular measurements, with variation between the seasons of the year, with its peak occurring during the reproductive season.

Also, different authors (Malau-Aduli, Eduvie, Lakpini, & Malau-Aduli, 2003; Ungerfeld & Gonzáles-Pensado, 2008; Maksimovic et al., 2016) report a positive correlation between body weight and scrotal circumference in supplemented animals. Similarly, although there were variations in body weight and condition, scrotal circumference and blood glucose in the present study, probably due to the amount of food consumed by each male, it has been reported that there is also an annual variation, recording their peak in spring with levels of $78.61 \mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ and their minimum in autumn with $43.09 \mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ in goat herds in northern Mexico (Meza-Herrera et al., 2007). A study with Cashmere goat bucks in Australia (Walkden-Brown, Restall, Norton, Scaramuzzi, & Martin, 1994) found that undernutrition causes a delay in the onset of sexual activity, indicated by a late increase in testicular weight, plasma levels of testosterone and sexual odor, compared to well-fed males. It has been reported that diet is not the factor that determines reproductive seasonality (Delgadillo et al., 2003); however, the level of nutrition can act as an important modulator, advancing the beginning and delaying the end of the sexual season (Walkden-Brown et al., 1994; De Santiago-Miramontes, et al., 2009; Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012). In goats it has been observed that an improvement in body weight correlates positively with testicular growth and semen quality (Mekasha, Tegegne, Abera, & Rodriguez-Martinez, 2008) because nutrition influences the development of Sertoli and Leydig cells (Guan & Martin, 2017). The sperm production and quality

ellos con una hembra estrogenizada, en una corraleta de 2×2 m, por 20 minutos, en donde se cuantificaron el número de conductas sexuales, categorizadas por Fabre-Nys (2000); Tejada et al., 2017; Calderon-Leyva et al., 2018, considerando: *Conductas apetitivas*: olfateos, aproximaciones, pataleos, flehmen, vocalizaciones, automarcajes y desenvaines *Conductas de consumación*: intentos de monta y monta con servicio.

Análisis estadístico: el peso corporal, la condición corporal, el olor sexual, la circunferencia escrotal, la glucosa sanguínea y la calidad seminal, fueron analizados mediante PROC MIXED de SAS para muestras repetidas en el tiempo. Las variables tratamiento, tiempo y la interacción tratamiento x tiempo fueron considerados como efectos fijos; el animal anidado en tratamiento fue considerado como efecto aleatorio. Se realizó una prueba de T de Student para determinar diferencias de la media e interacciones (TTEST, SAS). En las conductas sexuales apetitivas y de consumación se utilizó la prueba de Fisher (FREQ, SAS, 2004).

Resultados y discusión

Los resultados de este estudio muestran diferencias en las variables evaluadas a favor de los machos con mayor condición corporal. La diferencia entre grupos en peso y condición corporal se mantuvo a lo largo del estudio ($P < 0.05$). Peso corporal: CCB: 58.5 ± 0.6 , CCA: 61.9 ± 0.6 kg y condición corporal CCB: 1.4 ± 0.03 y CCA: 2.4 ± 0.03 . La circunferencia escrotal y niveles séricos de glucosa sanguínea mostraron diferencias ($P < 0.005$), la intensidad de olor sexual incrementó a partir de la sexta semana mostrando diferencias ($P < 0.005$); (Figura 1). De acuerdo con un estudio por Walkden-Brown et al. (1997), la circunferencia escrotal es considerada como indicador de la capacidad reproductiva. La producción espermática se correlaciona con las mediciones testiculares, con variación entre las estaciones del año y presentando su pico máximo durante la época reproductiva.

Asimismo, distintos autores (Malau-Aduli, Eduvie, Lakpini, & Malau-Aduli, 2003; Ungerfeld & Gonzáles-Pensado, 2008; Maksimovic et al., 2016), reportan una correlación positiva entre el peso corporal y la circunferencia escrotal en animales suplementados. De igual forma, el peso y la condición corporal, la circunferencia escrotal y la glucosa sanguínea, a pesar de que se presentaron variaciones, probablemente debido a la cantidad de alimento consumido por cada macho, se ha reportado que también existe una variación anual, registrando su pico máximo en primavera con niveles de $78.61 \mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ y el mínimo en otoño con $43.09 \mu\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ en rebaños caprinos del norte de México (Meza-Herrera et al., 2007). En un estudio con machos Cashmere en Australia (Walkden-Brown, Restall, Norton, Scaramuzzi, & Martin, 1994)

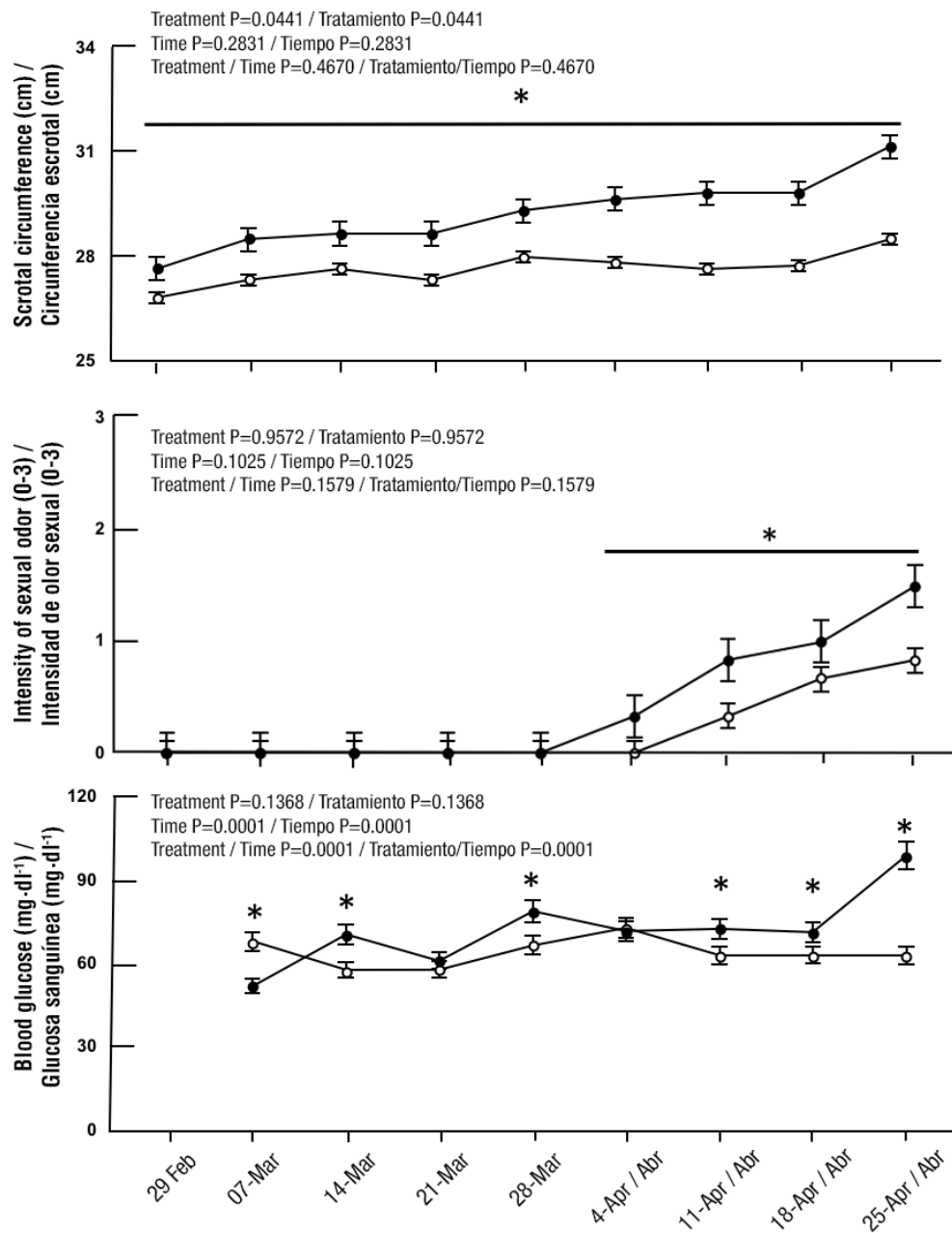


Figure 1. Effect of body condition on: scrotal circumference, intensity of sexual odor and blood glucose of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period. LBCS ○ and HBCS ● * ($P < 0.005$).

Figura 1. Efecto de la condición corporal sobre: circunferencia escrotal, intensidad del olor sexual y glucosa sanguínea de machos caprinos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual. CCB ○ y CCA ● * ($P < 0.005$)

of male goats may vary depending on the season, weather conditions, diseases, testicular lesions, etc., in such a way that the characteristics of the ejaculate can change, so parameters have been established to determine if its quality is acceptable, good or questionable (Mellado, 2008). In this study, differences ($P < 0.005$) were recorded in the variables of sperm volume, concentration, motility and viability, as well as total sperm per ejaculate, which suggests that due to the influence of a higher BCS in the HBCS group, these variables improved (Table 2).

reportaron que la subalimentación provoca un retraso en el inicio de la actividad sexual, indicado por un incremento tardío del peso testicular, de los niveles plasmáticos de testosterona y del olor sexual, en comparación con los machos bien alimentados. Se ha referido que la alimentación no es el factor que determina la estacionalidad reproductiva (Delgadillo et al., 2003), sin embargo, el nivel de nutrición puede actuar como un importante modulador, adelantando el inicio y retrasando el final de la estación sexual (Walkden-Brown et al., 1994; De Santiago-Miramontes,

Table 2. Effect of body condition on seminal quality parameters of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period in northern Mexico.

Cuadro 2. Efecto de la condición corporal sobre parámetros de calidad seminal de machos caprinos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual en el norte de México.

Variable	LBCS Group / Grupo CCB	HBCS Group / Grupo CCA
Mount latency (s)/Latencia a la monta (s)	28.94 ± 3.7 ^a	27.05 ± 3.7 ^a
Volume (ml)/Volumen (ml)	0.53 ± 0.07 ^a	0.91 ± 0.07 ^b
Concentration (10 ⁶ .mL ⁻¹)/Concentración (106.mL ⁻¹)	3322.7 ± 256.47 ^a	3787.2 ± 256.47 ^b
Motility (1-5)/Motilidad (1-5)	1.7 ± 0.19 ^a	2.7 ± 0.19 ^b
Viability (%) / Viabilidad (%)	48.2 ± 4.7 ^a	68.5 ± 4.7 ^b
Total sperm / Total de espermatozoides	2417.4 ± 318.9 ^a	3955.3 ± 318.9 ^b

^{a,b} Different letters in rows show significant difference ($P < 0.005$)/

^{a,b} Literales distintas en filas muestran diferencia significativa ($P < 0.005$)

These results coincide with those published by Martin, Tjondronegoro, and Blackberry (1994), who mention that providing an adequate diet results in body mass-related changes that are detectable in a few weeks; if this condition persists for several months, it leads directly to changes in the rate of production of spermatozoa (Martin et al., 1994). Male goats with a better BCS showed a higher percentage of sexual behaviors than those with a lower BCS ($P < 0.001$; Figures 2 and 3), such as: appetitive behaviors: HBCS, 57.6 % vs. LBCS, 42.3 %, consummatory behaviors: HBCS, 72.2 %; LBCS, 27.7 %), which coincides with the findings reported by Alvarado (2016). It has been reported that male goats with an adequate BCS have better reproductive rates such as semen quality, sexual odor, and testosterone levels, and that this aforementioned hormone is a trigger for a greater display of sexual behaviors (Maurya et al., 2010; Ghorbankhani, Sour, Moeini, & Mirmahmoudi, 2015).

et al., 2009; Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012). En los caprinos se ha observado que una mejora en el peso corporal se correlaciona positivamente con el crecimiento testicular y la calidad del semen (Mekasha, Tegegne, Abera, & Rodriguez-Martinez, 2008), debido a que la nutrición influye en el desarrollo de células de Sertoli y Leydig (Guan & Martin, 2017). La producción y calidad espermática de los machos cabríos puede variar dependiendo de la época, condiciones climáticas, enfermedades, lesiones testiculares, etcétera, de tal forma que las características del eyaculado pueden cambiar, por lo que se han establecido parámetros para determinar si su calidad es aceptable, buena o cuestionable (Mellado, 2008). En este estudio se registraron diferencias ($P < 0.005$) en las variables de volumen, concentración, motilidad, viabilidad y total de espermatozoides por eyaculado, lo cual sugiere que por influencia de una mayor condición corporal en el grupo CCA mejoraron estas variables (Cuadro 2).

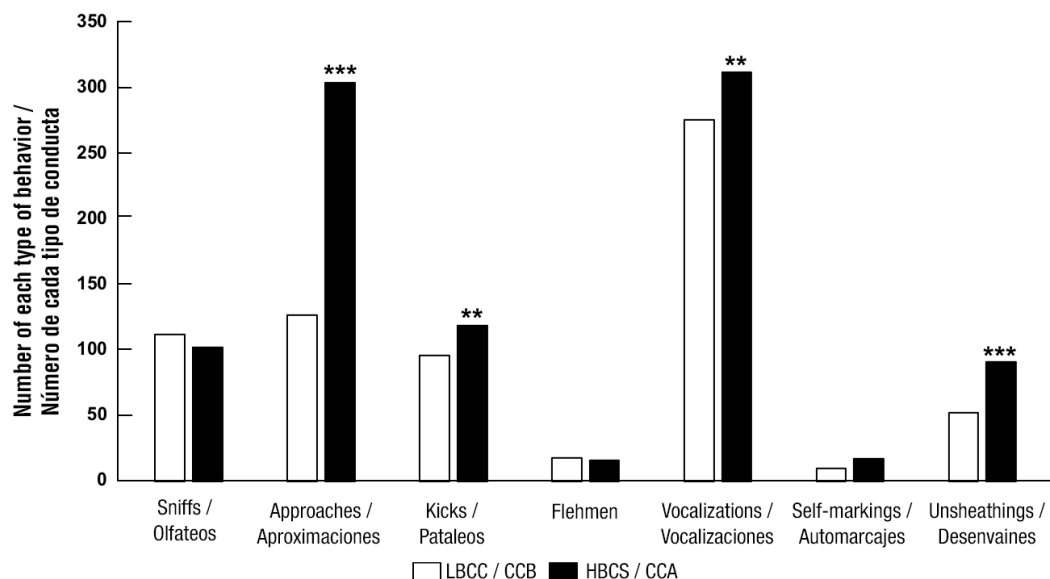


Figure 2. Effect of body condition on appetitive sexual behaviors of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period.

Figura 2. Efecto de la condición corporal sobre las conductas sexuales apetitivas de machos caprinos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual.

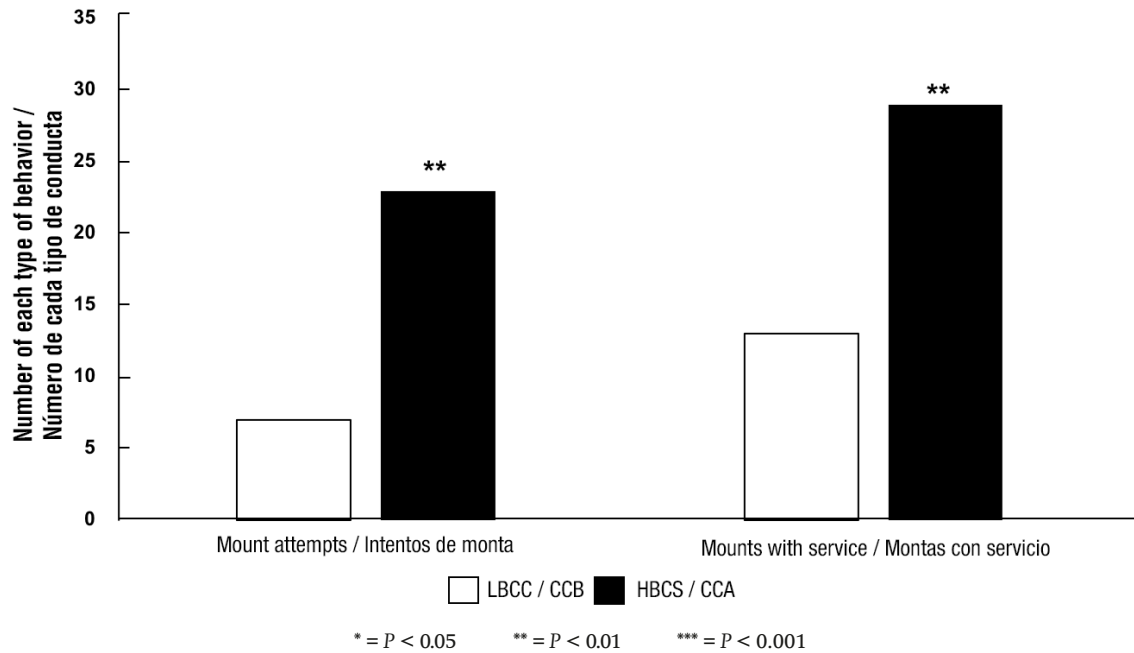


Figure 3. Effect of body condition on the consummatory sexual behaviors of male goats treated with testosterone at the end of the low sexual activity period.

Figura 3. Efecto de la condición corporal sobre las conductas sexuales consumatorias de machos caprinos tratados con testosterona al final del periodo de baja actividad sexual.

The management of herds of small ruminants has led to a decline in natural selection, decreasing the sexual behavior of males (Zohary, Tchernov, & Horwitz, 1998); therefore, it is necessary to develop, standardize and establish sexual behavior tests to select males with higher sexual performance, this being a determining factor in the estral and ovulatory response of the females (Luna-Orozco et al., 2012; Tejada et al., 2017; Calderon-Leyva et al., 2018). Indeed, it has been reported that the influence of the male goat's intensity of sexual behavior directly influences two key regions of the brain involved in the control of the gonadotropic axis in them, so that the higher the intensity of sexual behaviors emitted by the male, the greater the sexual response of the females to their stimulus will be (Martínez-Alfaro et al., 2014; Bedos et al., 2016).

Conclusion

The results obtained in this study allow us to conclude that a higher body condition score and weight in male goats plus the application of testosterone at the end of the low sexual activity period improve parameters such as scrotal circumference, intensity of sexual odor and seminal quality, as well as appetitive and consummatory sexual behaviors, which may be essential to induce ovulation in anestrus females through the male effect.

Estos resultados coinciden con lo publicado por Martin, Tjondronegoro, y Blackberry, (1994), quienes mencionan que en respuesta a una adecuada alimentación se generan cambios relacionados con la masa corporal que son detectables en unas pocas semanas, si esta condición persiste durante varios meses conduce directamente a cambios en la tasa de producción de espermatozoides (Martin et al., 1994). Los machos cabríos con una mejor condición corporal mostraron un mayor porcentaje de conductas sexuales que los de menor condición corporal ($P < 0.001$; Figuras 2 y 3), como fueron: conductas apetitivas: CCA, 57.6 % vs CCB, 42.3 %, conductas de consumación: CCA, 72.2 %; CCB, 27.7 %, lo cual coincide con lo reportado por Alvarado (2016). Se ha reportado que los machos cabríos con una condición corporal adecuada presentan mejores índices reproductivos como calidad de semen, olor sexual, y niveles de testosterona, esta hormona es un detonante de un mayor despliegue de conductas sexuales (Maurya et al., 2010; Ghorbankhani, Souri, Moeini, & Mirmahmoudi, 2015).

El manejo de los rebaños de pequeños rumiantes ha conducido a una merma de la selección natural, disminuyendo el comportamiento sexual de los machos (Zohary, Tchernov, & Horwitz, 1998), por ello, es necesario desarrollar, estandarizar y establecer pruebas de comportamiento sexual para seleccionar machos con mayor rendimiento sexual, siendo éste un

Acknowledgments

The authors thank the following: goat producers Claudia Borjas, Horacio Hernández, Leonardo Jiménez and Dionicio Domínguez; Anabel López, María Guadalupe Machado, Tomás Arbez and Filiberto Anzures for their support in the study; and INIFAP-CIRNOC and CONACYT for the scholarship awarded to Edgar Daniel Valle M.

We recognize the financial support given by the sectorial fund of the National Council of Science and Technology (CONACyT, Mexico) and the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA, Mexico): 2017-4-291691.

End of English version

References / Referencias

- Alvarado, E. J. F. (2016). La alimentación afecta el comportamiento sexual de los machos cabríos tratados con testosterona exógena. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila, México.
- Akpa, G. N., Ambali, A. L., & Suleiman, I. O. (2013). Body conformation, testicular and semen characteristics as influenced by age, hair type and body condition of Red Sokoto goat. *New York Science Journal*, 6(7), 44-58. Retrieved from: <http://www.sciencepub.net/newyork>.
- Álvarez, R. L., & Zarco, Q. L. A. (2001). Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. *Veterinaria México*, 32(2). Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42332205>
- Ángel-García, O., Meza-Herrera, C. A., Contreras-Villarreal, V., Guillén-Muñoz, J. M., Leyva, C., Robles-Trillo, P. A., ... & Véliz, F. G. (2015). Effect of different male-to-female ratios and testosterone administration upon the male sexual behavior and the out-of-season reproductive response of anestrus goats. *Small Ruminant Research*, 133, 21-29. doi:10.1016/j.smallrumres.2015.10.013
- Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., Méndez de Lara, S., Bañuelos, R., & Meza-Herrera, C. A. (2008). Role and perspectives of goat production in a global world. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1). Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911227001>
- Bedos, M., Portillo, W., Dubois, J. P., Duarte, G., Flores, J. A., Chemineau, P., ... & Delgadillo, J. A. (2016). A high level of male sexual activity is necessary for the activation of the medial preoptic area and the arcuate nucleus during the 'male effect' in anestrus goats. *Physiology and Behavior*, 165, 173-178. doi:10.1016/j.physbeh.2016.07.018
- Bustos, O. E., & Torres-Díaz, L. (2012). Reproducción estacional en el macho. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1266-1279. doi: 10.4067/S0717-95022012000400004
- factor determinante en la respuesta estral y ovulatoria de las hembras (Luna-Orozco et al., 2012; Tejada et al., 2017; Calderon-Leyva et al., 2018). Efectivamente, ha sido reportado que la influencia de la intensidad del comportamiento sexual del macho caprino influye directamente dos regiones clave del cerebro involucradas en el control del eje gonadotrófico en las mismas, de manera que, a mayor intensidad de conductas sexuales emitidas por el macho, será mayor la respuesta sexual de las hembras al estímulo de éste (Martínez-Alfaro et al., 2014; Bedos et al., 2016).

Conclusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que, una mayor condición y peso corporal en machos cabríos más la aplicación de testosterona al final del periodo de baja actividad sexual mejoran parámetros como circunferencia escrotal, intensidad de olor sexual y la calidad seminal, así como las conductas sexuales apetitivas y de consumación, lo cual puede ser esencial para inducir la ovulación en hembras anéstricas a través del efecto macho.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los caprinocultores Claudia Borjas, Horacio Hernández, Leonardo Jiménez y Dionicio Domínguez. De igual manera a Anabel López, María Guadalupe Machado, Tomás Arbez y Filiberto Anzures por el apoyo en el estudio. Al INIFAP-CIRNOC y al CONACYT por la beca otorgada a Edgar Daniel Valle M.

Reconocemos el apoyo financiero brindado por el fondo sectorial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, México): 2017-4-291691

Fin de la versión en español

- Crocker, K. P., Butler, L. G., Johns, M. A., & McColm, S. C. (1982). Induction of ovulation and cyclic activity in anestrus ewes with testosterone treated wethers and ewes. *Theriogenology*, 17(3), 349-354. doi:10.1016/0093-691X(82)90095-4
- Calderón-Leyva, G., Meza-Herrera, C. A., Rodríguez-Martínez, R., Ángel-García, O., Rivas-Muñoz, R., Delgado-Bermejo, J. V., & Véliz-Deras, F. G. (2018). Influence of sexual behavior of Dorper rams treated with glutamate and/or testosterone on reproductive performance of anovulatory ewes. *Theriogenology*. 106(1):79-86. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2017.10.016.
- Carrillo, E., Meza-Herrera, C. A., & Véliz, F. G. (2010). Reproductive seasonality of young French-Alpine goat

- bucks adapted to subtropical conditions in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 169-178.
- Cruz-Castrejón, U., Véliz, F. G., Rivas-Muñoz, R., Flores, J. A., Hernández, H., & Duarte M. G. (2007). Respuesta de la actividad sexual a la suplementación alimenticia de machos cabríos tratados con días largos, con un manejo extensivo a libre pastoreo. *Técnica Pecuaria en México*, 45(1). Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61345108>
- De Santiago-Miramontes, M. A., Malpaux, B., & Delgadillo, J. A. (2009). Body condition is associated with a shorter breeding season and reduced ovulation rate in subtropical goats. *Animal Reproduction Science*, 114(1), 175-182. doi:10.1016/j.anireprosci.2008.09.001
- De Santiago-Miramontes, M. A., Luna-Orozco, J. R., Meza-Herrera, C. A., Rivas-Muñoz, R., Carrillo, E., Veliz-Deras, G., & Mellado, M. (2011). The effect of flushing and stimulus of estrogenized does on reproductive performance of anovulatory-range goats. *Tropical Animal Health and Production*. 43(8):1595-1600, DOI: 10.1007/s11250-011-9849-6.
- Delgadillo Sánchez, J., Flores Cabrera, J., Véliz Deras, F., Duarte Moreno, G., Vielma Sifuentes, J., Poindron Massot, P., & Malpaux, B. (2003). Control de la reproducción de los caprinos del subtrópico mexicano utilizando tratamientos fotoperiódicos y efecto macho. *Veterinaria México*, 34 (1), 69-79. Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42334107>
- Delgadillo, J. A., Canedo, G. A., Chemineau, P., Guillaume, D., & Malpaux, B. (1999). Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male Creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*, 52(4), 727-737. doi:10.1016/S0093-691X(99)00166-1
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Hernández, H., Poindron, P., Keller, M., Fitz-Rodríguez, G., ... & Chemineau, P. (2015). Sexually active males prevent the display of seasonal anestrus in female goats. *Hormones and Behavior*, 69, 8-15. doi:10.1016/j.yhbeh.2014.12.001
- Dupont, J., Reverchon, M., Bertoldo, M. J., & Froment, P. (2014). Nutritional signals and reproduction. *Molecular and cellular endocrinology*, 382(1), 527-537. doi:10.1016/j.mce.2013.09.028
- Escareño, L., Salinas-González, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J., & Meza-Herrera, C. (2013). Dairy goat production systems in dry areas: status-quo, perspectives and challenges. *Tropical Animal Health and Production*. 45(1):17-34. DOI: 10.1007/s11250-012-0246-6.
- Fabre-Nys, C. (2000). Le comportement sexuel des caprins: contrôle hormonal et facteurs sociaux. *Productions Animales* 1 (13), 11-23. Retrieved from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=LV2016003180>
- Flores-Najera M. J., Meza-Herrera, C. A., Echavarría, F. G., Villagomez, E., Iñiguez, L., Salinas, H., & Gonzalez-Bulnes, A. (2010). Influence of nutritional and socio-sexual cues upon reproductive efficiency of goats exposed to the male effect under extensive conditions. *Animal Production Science*. 50(9): 897-901. DOI: 10.1071/AN10030.
- Gatica, M. C., Celi, I., Guzmán, J. L., & Zarazaga, L. A. (2012). Utilización de fotoperiodo e implantes de melatonina para el control de la reproducción en caprinos Mediterráneos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(10). Retrieved from: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101012.html>
- Ghorbankhani, F., Souri, M., Moeini, M. M., & Mirmahmoudi, R. (2015). Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ram lambs during the natural breeding season. *Animal Reproduction Science*, 153, 22-28. doi:10.1016/j.anireprosci.2014.12.006
- Guan, Y., Malecki, I. A., Hawken, P. A., Linden, M. D., & Martin, G. B. (2014). Under-nutrition reduces spermatogenic efficiency and sperm velocity, and increases sperm DNA damage in sexually mature male sheep. *Animal reproduction science*, 149(3-4), 163-172.
- Guan, Y., & Martin, G. B. (2017). Cellular and molecular responses of adult testis to changes in nutrition: novel insights from the sheep model. *Reproduction*, 154(5), R133-R141. doi: 10.1530/REP-17-0061
- Iwata, E., Wakabayashi, Y., Kakuma, Y., Kikusui, T., Takeuchi, Y., & Mori, Y. (2000). Testosterone-dependent primer pheromone production in the sebaceous gland of male goat. *Biology of Reproduction*, 62(3), 806-810. doi:10.1095/biolreprod62.3.806
- Kanai, Y., Yamasaki, J., Takeuchi, Y., Koike, N., Fujiyama, M., & Mori, Y. (1995). Electrophysiological recording of hypothalamic GnRH pulse generator activity in castrated male goats. *Journal of Reproduction and Development*, 41(1), 57-62. doi:10.1262/jrd.41.57
- Luna-Orozco, J. R., Guillén-Muñoz, J. M., De Santiago, M. A., García, J. E., Rodríguez-Martínez, R., Meza-Herrera, C. A., ... & Véliz, F. G. (2012). Influence of sexually inactive bucks subjected to long photoperiod or testosterone on the induction of estrus in anovulatory goats. *Tropical Animal Health and Production*, 44(1), 71-75. doi:10.1007/s11250-011-9889-y
- Maksimovic, N., Hristov, S., Stankovic, B., Petrovic, M. P., Mekic, C., Ruzic-Muslic, D., & Caro-Petrovic, V. (2016). Investigation of serum testosterone level, scrotal circumference, body mass, semen characteristics, and their correlations in developing MIS lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 40(1), 53-59. doi:10.3906/vet-1505-61
- Malau-Aduli, B. S., Eduvie, L., Lakpini, C., & Malau-Aduli, A. E. O. (2003). Scrotal circumference, bodyweight and serum testosterone concentration of Red Sokoto weaner bucks as influenced by dry season crop-residue supplementation. *Animal Science Journal*, 74(3), 195-203. doi: 10.1046/j.1344-3941.2003.00105.x
- Martin, G. B., Tjondronegoro, S., & Blackberry, M. A. (1994). Effects of nutrition on testicular size and the concentrations of gonadotrophins, testosterone and

- inhibin in plasma of mature male sheep. *Journal of Reproduction and Fertility*. 101(1), 121-128. doi: 10.1530/jrf.0.1010121
- Martínez-Alfaro, J. C., Hernández, H., Flores, J. A., Duarte, G., Fitz-Rodríguez, G., Fernández, I. G., ... & Vielma, J. (2014). Importance of intense male sexual behavior for inducing the preovulatory LH surge and ovulation in seasonally anovulatory female goats. *Theriogenology*, 82(7), 1028-1035. doi:10.1016/j.theriogenology.2014.07.024.
- Maurya, V. P., Sejian, V., Kumar, D., & Naqvi, S. M. K. (2010). Effect of induced body condition score differences on sexual behavior, scrotal measurements, semen attributes and endocrine responses in Malpura rams under hot semi-arid environment. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(6). doi: 10.1111/j.1439-0396.2010.01012.x
- Mekasha, Y., Tegegne, A., Abera, A., & Rodriguez-Martinez, H. (2008). Body size and testicular traits of tropically-adapted bucks raised under extensive husbandry in Ethiopia. *Reproduction in Domestic Animals*, 43(2), 196-206. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.00877.x
- Mellado, M. (2008). Técnicas para el manejo reproductivo de las cabras en agostadero. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 9(1). Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911227005>
- Mellado, M., & Meza-Herrera, C. A. (2002). Influence of season and environment on fertility of goats in a hot-arid environment. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge*. 138(1):97-102.
- Meza-Herrera, C. A., Bocanegra, J. A., Bañuelos, R., Aréchiga, C. F., Rincón, R. M., Ochoa-Cordero, M. A., ... & Salinas, H. (2007). Circannual fluctuations in serum cortisol and glucose concentrations and hair coat growth in goats. *Journal of Applied Animal Research*, 31(1), 79-82. doi:10.1080/09712119.2007.9706634
- Meza-Herrera, C. A., & Tena-Sempere, M. (2012). Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: *Animal Reproduction in Livestock*. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK*, [<http://www.eolss.net>].
- Rosales-Nieto, C. A., Gamez-Vazquez, H. G., Gudino-Reyes, J., Reyes-Ramirez, E. A., Eaton, M., Stanko, R. L., Meza-Herrera, C. A., Gonzalez-Bulnes, A. (2011). Nutritional and metabolic modulation of the male effect upon resumption of ovulatory activity of goats. *Animal Production Science*. 51(2): 115-122. doi: 10.1071/AN10124.
- Salinas-González, H., Valle-Moysén, E. D., de Santiago-Miramontes, M. A., Veliz-Deras, F. G., Maldonado-Jáquez, J. A., Vélez-Monroy, L. I., ... & Figueroa-Viramontes, U. (2016). Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la región lagunera, Coahuila, México. *Interciencia*, 41(11). Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33948191006>
- Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M., & Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction Nutrition Development*, 46(4), 339-354. doi: 10.1051/rnd:2006016
- Tejada, L. M., Meza-Herrera, C. A., Rivas-Muñoz, R., Rodríguez-Martínez, R., Carrillo, E., Mellado, M., & Véliz-Deras, F. G. (2017). Appetitive and consummatory sexual behaviors of rams treated with exogenous testosterone and exposed to anestrus Dorper ewes: Efficacy of the male effect. *Archives of Sexual Behavior*. 46(3): 835-842. DOI: 10.1007/s10508-016-0852-x
- Ungerfeld, R., & González-Pensado, S. P. (2008). Social rank affects reproductive development in male lambs. *Animal Reproduction Science*, 109(1), 161-171. doi:10.1016/j.anireprosci.2007.12.006
- Walkden-Brown, S. W., Restall, B. J., Norton, B. W., Scaramuzzi, R. J., & Martin, G. B. (1994). Effect of nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odour in Australian Cashmere goats. *Journal of Reproduction and Fertility*, 102(2), 351-360. doi:10.1530/jrf.0.1020351
- Walkden-Brown, S. W., Restall, B. J., Scaramuzzi, R. J., Martin, G. B., & Blackberry, M. A. (1997). Seasonality in male Australian Cashmere goats: long term effects of castration and testosterone or oestradiol treatment on changes in LH, FSH and prolactin concentrations, and body growth. *Small Ruminant Research*, 26(3), 239-252. doi:10.1016/S0921-4488(97)00017-5.
- Zohary, D., Tchernov, E., & Horwitz, L. K. (1998). The role of unconscious selection in the domestication of sheep and goats. *Journal of Zoology*, 245(2), 129-135. Retrieved from: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-zoology/article/role-of-unconscious-selection-in-the-domestication-of-sheep-and-goats/25C87707DC56C3220E153D65D5C44E69>