

Variaciones estacionales de parámetros reproductivos, calidad seminal y niveles de testosterona en carneros Highlander

Seasonal variations of reproductive parameters, semen quality and testosterone levels of Highlander rams

Pablo M. Ojeda Fermoselle¹, Jorgelina Manes², Juan F. Aller^{3,4}

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la estación del año (fotoperiodo) sobre la circunferencia escrotal (CE), peso testicular (PT), volumen testicular (VT), capacidad de servicio (CS), concentración plasmática de testosterona y características cuali-cuantitativas del semen fresco de carneros Highlander. El estudio se realizó en la pampa húmeda de Argentina (130 msnm) con seis carneros adultos (5-6 años). Se realizaron determinaciones mensuales de peso vivo, condición corporal, CE, PT [$PT=0.5533 \times (L) \times (A)^2$], VT [$VT=4/3 \times (\pi) \times (L/2) \times (A/2)^2$], siendo L=longitud y A=ancho del testículo y testosterona plasmática. La prueba de CS se realizó dos veces por estación y la evaluación del semen dos veces por semana durante el mes central de cada estación. El análisis se hizo mediante modelos lineales mixtos para medidas repetidas en el tiempo (R Core Team). En verano (marzo) se observaron los mayores valores (media \pm EE; $p<0.05$) de CE (34.2 ± 0.7 cm), PT (506.7 ± 21.2 g) y VT (479.7 ± 20.0 cm³). El número promedio de montas totales fue mayor ($p<0.05$) en invierno (15) respecto de la primavera (10) y el verano (8.5). La mayor concentración plasmática de testosterona ($p<0.05$) fue determinada en verano (enero= 15.2 ± 4.3 ng/ml) y la menor en invierno (agosto= 0.12 ± 0.1 ng/ml). En los eyaculados

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Catamarca, Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Marcos Juárez, Argentina

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Balcarce, Argentina

⁴ E-mail: alleratucha.juan@inta.gob.ar

Recibido: 1 de marzo de 2021

Aceptado para publicación: 6 de septiembre de 2021

Publicado: 27 de octubre de 2021

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

(n=192) se observó un menor volumen en primavera y verano ($p<0.05$). La motilidad espermática total (%), el vigor y la concentración espermática registraron una disminución significativa ($p<0.05$) en verano. No se observaron diferencias significativas en los porcentajes de motilidad individual progresiva y espermatozoides normales entre estaciones. Los resultados sugieren que los carneros Highlander presentan un mayor potencial reproductivo en la estación de otoño (fotoperiodo decreciente).

Palabras clave: circunferencia escrotal, capacidad de servicio, testosterona, calidad seminal, carneros, Highlander

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the effect of the season of the year (photoperiod) on scrotal circumference (SC), testicular weight (TW), testicular volume (TV), serving capacity test (SCT), plasma testosterone concentration and semen quality traits in Highlander rams. The study was carried out in the humid pampas of Argentina (130 m above sea level) with six adult rams (5-6 years old). Monthly determinations of body weight, body condition score, SC, TW [$TW = 0.5533 \times (L) \times (W)^2$], TV [$TV = 4/3 \times (\pi) \times (L/2) \times (W/2)^2$], being L=length and W=width of the testicle, and plasma testosterone. The SCT was performed twice per season and the semen evaluation twice per week during the central month of each season. The analysis was done using linear mixed models for repeated measures (R Core Team). In summer (March) the highest values of SC (mean \pm SE; $p<0.05$) (34.2 ± 0.7 cm), TW (506.7 ± 21.2 g) and TV (479.7 ± 20.0 cm³) were observed. The average number of total mounts was higher ($p<0.05$) in winter (15) compared to spring (10) and summer (8.5). The highest plasma testosterone concentration ($p<0.05$) was observed in summer (January = 15.2 ± 4.3 ng/ml) and the lowest in winter (August = 0.12 ± 0.1 ng/ml). In ejaculates (n=192), a lower volume was observed in spring and summer ($p<0.05$). Total sperm motility (%), vigor and sperm concentration registered a significant decrease ($p<0.05$) in summer. No significant differences were observed in the percentages of individual progressive motility and normal sperm between seasons. The results suggest that Highlander rams have a higher reproductive potential during autumn (decreasing photoperiod).

Key words: scrotal circumference, serving capacity, testosterone, semen quality, rams, Highlander

INTRODUCCIÓN

La raza Highlander fue creada por Rissington Breedline Ltd. en Nueva Zelanda en el año 2000, combinando genética de las razas Finnish Landrace (50%), Romney Marsh (25%) y Texel (25%) (Rissington Co., 2001). Se emplea como «compuesto maternal» en cruzamientos con padres de razas sintéticas para la producción de corderos

Premium. Se caracteriza por ser una raza prolífica con 10-12% de trillizos, superando 180% de corderos nacidos. Las hembras demuestran una gran precocidad, ya que con 6-7 meses de edad y 40 kg de peso vivo entran a servicio alcanzando 90% de preñez, siendo utilizadas para la producción de cordero terminal cuando son cubiertas por líneas paternas, como Suffolk, Poll Dorset u otras. En el servicio por monta natural se utiliza 1.5% de machos, dada su alta libido y capacidad de

servicio (Agromeat, 2013). En Argentina se introdujo la raza en el año 2006, mediante la importación de embriones congelados que fueron transferidos con acuerdos de servicios entre el INTA y Rissington Sudamérica, comenzando con las pruebas de performance reproductiva en hembras (Sanchez *et al.*, 2014).

Cox *et al.* (2015) evaluaron las características seminales de carneros Highlander en estación reproductiva, pero no existe información en la bibliografía internacional del efecto de la estación del año (fotoperiodo) sobre las características reproductivas en general (comportamiento sexual, calidad seminal y testosterona plasmática). Por otro lado, el consenso general es que los machos ovinos se ven menos afectados por el fotoperiodo que las hembras y aunque su actividad reproductiva se encuentra disminuida en el fotoperiodo creciente, conservan su capacidad fecundante durante todo el año (D'Occhio y Brooks, 1983). Asimismo, también existen variaciones entre individuos, pudiendo deberse en parte, a que la reproducción estacional y los mecanismos endocrinos involucrados están afectados por estímulos conductuales que emergen de las relaciones sociales que los animales establecen con otros de su misma especie (Rosa y Bryant, 2002).

La hipótesis de trabajo fue que las características reproductivas de los carneros Highlander varían según la estación del año, siendo el otoño (fotoperiodo decreciente) la estación con mejor aptitud reproductiva. En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la estación del año sobre la circunferencia escrotal, peso y volumen testicular, capacidad de servicio, concentración plasmática de testosterona y características cuali-cuantitativas del semen fresco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

El trabajo se llevó a cabo entre marzo de 2017 y marzo de 2018 en la Estación Experimental Balcarce perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en la provincia de Buenos Aires, Argentina (37°45' latitud sur, 58°18' longitud oeste, 130 msnm). Las estaciones del año consideradas fueron otoño (21/03-20/06), invierno (21/06-20/09), primavera (21/09-20/12) y verano (21/12-20/03). Se registró diariamente la temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, precipitación y horas luz/día, datos provistos por el Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (SIGA-INTA). Los horarios de salida y de entrada del sol, horario de inicio del crepúsculo civil matutino y de finalización del crepúsculo civil vespertino fueron provistos por el Servicio de Hidrografía Naval (SNHN).

Animales

Se utilizaron seis carneros adultos (5-6 años) de la raza Highlander nacidos por transferencia de embriones congelados importados y elegidos por su alta tasa de concepción en servicios naturales controlados. Los animales se manejaron bajo un sistema de pastoreo rotativo de avena (*Avena sativa*) (08:00 a 14:00 h) y suplementación a corral (15:00 a 07:00 h) con 400 g/animal de una ración comercial y rollo de pasturas asociadas (alfalfa [*Medicago sativa*], festuca [*Festuca arundinacea*], trébol [*Trifolium repens* L]) con disponibilidad de agua *ad libitum*. Previo al inicio del ensayo, se descartó la infección por *Brucella ovis* y *Brucella melitensis*, mediante análisis serológico y se realizó control de parásitos internos por medio del conteo

de huevos por gramo de materia fecal (hpg) cada 45 días y parásitos externos por observación visual, administrando antiparasitarios según las necesidades.

Las variables físicas, como peso vivo (PV), condición corporal (CC; escala de 0 a 5; Russel *et al.*, 1969) y circunferencia escrotal (CE) fueron determinadas una vez por mes. Para la medición de la CE se utilizó una cinta métrica metálica (Knight, 1977) y para la determinación del volumen (VT) y el peso testicular (PT) se utilizó un calibre electrónico (Schuifmaat, 0-150 mm), siendo la longitud medida en el sentido más largo de la gónada, excluyendo cabeza y cola de epidídimo, y el ancho, en la región ecuatorial de cada testículo. Posteriormente se empleó la fórmula de peso testicular [$PT=0.5533 \times (L) \times (A)^2$] y volumen testicular [$VT=4/3 \times (\delta) \times (L/2) \times (A/2)^2$], siendo L=longitud y A=ancho del testículo (Bailey *et al.*, 1998) y los resultados finales se expresan para ambos testículos.

El comportamiento sexual se evaluó mediante la prueba de capacidad de servicio, donde cada carnero fue expuesto a tres ovejitas ovariectomizadas sujetadas en bretes durante 20 min, registrándose el número de montas totales y cópulas completas (Ibarra *et al.*, 1999). Esta determinación se realizó dos veces por estación y la eficiencia del servicio se calculó mediante la fórmula: número de cópulas completas/número de montas totales x 100, propuesta por Boyd *et al.* (1991) para toros jóvenes.

Se tomaron muestras de sangre de la vena yugular en tubos heparinizados que inmediatamente se centrifugaron a 600 g durante 10 min para la obtención del plasma sanguíneo. Posteriormente se almacenó a -80 °C hasta la determinación de la concentración de testosterona plasmática mediante un kit comercial de radioinmunoanálisis (RIA) (IM1119, Beckman Coulter Inc., USA). Todas las muestras se procesaron con un coeficiente de variación intra-ensayo menor al 9%

para concentraciones comprendidas entre 0.09 y 22.0 ng/ml y una sensibilidad estimada de 0.10 ng/ml. Estos muestreos se realizaron una vez por mes.

La colecta de semen se realizó con vagina artificial atemperada a 42 °C, dos veces por semana, durante las cuatro semanas centrales de cada estación (desde la quinta hasta la octava semana), colectando ocho eyaculados/carnero/estación. Para este procedimiento se utilizó una oveja ovariectomizada como súcubo y la recolección se realizó después de 5 min de pre-excitación y de una falsa monta previa. El tubo con el semen recién extraído fue inmediatamente transferido al laboratorio y colocado a baño maría (Vicking, Masson II®, Argentina) a 32 °C para su evaluación. Las características seminales evaluadas fueron: volumen, pH, motilidad de masa microscópica (escala de 0 a 5), concentración espermática (espectofotómetro Accuread, IMV Technologies, Francia), motilidad total (%), motilidad individual progresiva (%), vigor (escala de 0 a 5), relación vivos/muertos (%), coloración eosinonigrosina y morfología espermática (Ax *et al.*, 2000), utilizando un microscopio óptico (Nikon. Alphaphot 2 ys2-t®, Japón).

Todos los procedimientos experimentales fueron realizados teniendo en cuenta las normas éticas y de bienestar animal y fueron aprobados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación (CICUAE, Protocolo N.º 025) del INTA, establecido por el principio de las tres R, reducción del número de animales, refinamiento de la técnica y reemplazo de animales por otras técnicas.

Análisis Estadístico

Para la evaluación de las variables físicas, capacidad de servicio, concentración de testosterona y características seminales se ajustaron modelos lineales mixtos para medi-

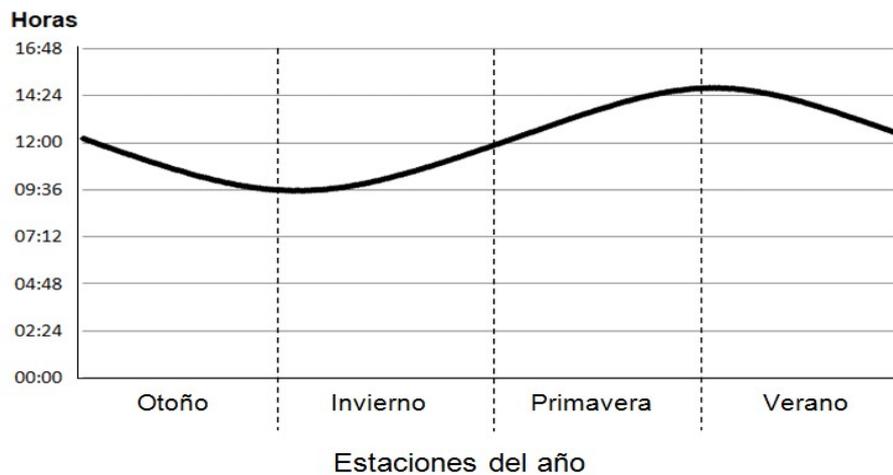


Figura 1. Horas luz/día en la ciudad de Balcarce, Argentina

das repetidas en el tiempo. Se consideraron los meses/estaciones del año como efecto fijo y el carnero, como efecto aleatorio y en algunos casos se incorporó una estructura autorregresiva entre los errores del mismo carnero dentro de una misma estación. La heterogeneidad de varianza se modeló en las variables donde fue necesario, para seleccionar el modelo adecuado. Además, se realizaron gráficos de diagnóstico de los residuales y pruebas de cociente de máxima verosimilitud restringida, para comparar modelos en cada variable. Se realizaron pruebas de Tukey para determinar diferencias de medias entre variables. Correlaciones de Pearson fueron determinadas entre las variables físicas, concentración plasmática de testosterona y las horas luz/día. Se trabajó con un nivel de significación del 5% para considerar efectos significativos. Los análisis se efectuaron empleando el software R (R Core Team, 2016) mediante la interfaz RStudio (v. 0.99.903). Los gráficos se realizaron con el paquete lattice (Deepayan, 2008) y los ajustes de modelos mixtos se realizaron con el paquete nlme (Pinheiro *et al.*, 2013).

RESULTADOS

La cantidad de horas luz/día promedio por estación se calculó como la diferencia en horas, entre el crepúsculo civil vespertino y el crepúsculo civil matutino. La menor cantidad de horas luz/día se registró a comienzo del invierno (9.32 h/día) y la mayor cantidad de horas luz/día se registró a comienzo del verano (14.48 h/día). La disminución en la cantidad de horas luz/día marca el comienzo del fotoperiodo decreciente (Figura 1).

El PV (kg) promedio (\pm EE) anual de los animales fue de 72.4 (\pm 0.6) kg. Se registró un aumento promedio de aproximadamente 4% entre estaciones (2.5% otoño-invierno, 4.6% invierno-primavera y 3.8% primavera-verano) y un aumento total de 10.6% entre el otoño y el verano siguiente. La CC promedio (\pm EE) anual fue de 2.7 (\pm 0.1). En ambas variables el mayor ($p < 0.05$) valor de CC se observó en el verano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Promedio (\pm EE) del peso vivo (PV) y condición corporal (CC) de carneros Highlander en las cuatro estaciones del año

Variabes	PV (kg)	CC (0-5)
Otoño	69.1 \pm 2.0 ^d	2.6 \pm 0.1 ^b
Invierno	70.9 \pm 2.1 ^c	2.6 \pm 0.1 ^b
Primavera	74.3 \pm 2.1 ^b	2.6 \pm 0.1 ^b
Verano	77.3 \pm 2.2 ^a	2.8 \pm 0.1 ^a

^{a,b,c,d} Valores con letras diferentes dentro de columnas difieren significativamente ($p < 0.05$)

Los promedios (\pm EE) anuales de la CE, PT y VT fueron 30.8 (\pm 0.2) cm, 380.5 (\pm 4.3) g y 360.4 (\pm 6.9) cm³ respectivamente. En las estaciones de verano y otoño se observaron los mayores ($p < 0.05$) valores en los tres parámetros evaluados (Figura 2).

El número promedio mensual de montas totales disminuyó hacia el comienzo del verano (enero), observándose el máximo valor al comienzo del invierno (julio) y una disminución hacia el final de dicha estación, para

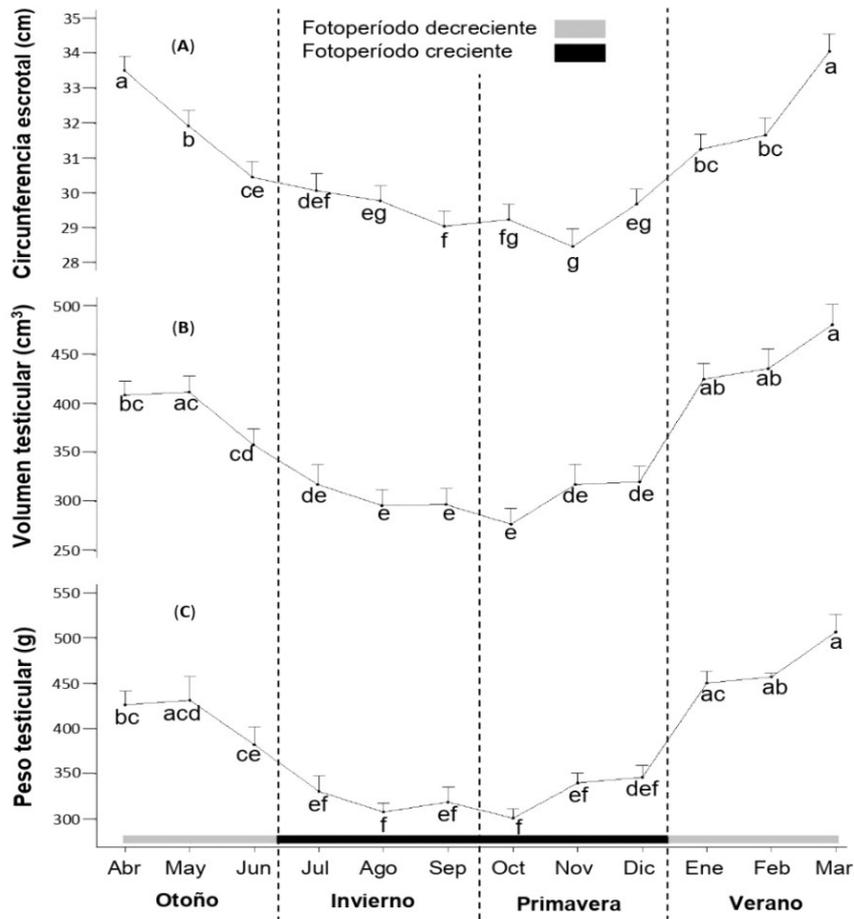


Figura 2. Variación mensual (promedio \pm EE) de la circunferencia escrotal (A), volumen testicular (B) y peso testicular (C) de ambos testículos en carneros Highlander. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Cuadro 2. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson entre las variables físicas, la capacidad de servicio, la concentración plasmática de testosterona y las horas luz/día en carneros Highlander

VARIABLES	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso vivo	x							
Condición corporal	0.30*	x						
Circunferencia escrotal	0.17	0.06	x					
Volumen testicular	0.02	0.05	0.83***	x				
Peso testicular	0.01	0.04	0.82***	1.00***	x			
Nº de montas totales	-0.04	0.05	-0.06	-0.07	-0.07	x		
Nº de cópulas completas	-0.01	0.04	0.03	-0.10	-0.11	0.35*	x	
Testosterona plasmática	-0.07	-0.33	0.34*	0.34*	0.34*	-0.26	-0.24	x
Horas luz/día	0.29	-0.07	-0.03	-0.04	0.04	-0.44**	-0.25	0.56**

*p<0.05; **p<0.001; ***p<0.0001

Cuadro 3. Parámetros seminales (media ± EE) de los eyaculados de carneros Highlander

Parámetros seminales	VOL (ml)	pH	CONC (x10 ⁶ Espz/ml)	TESPZ (x10 ⁶ Espz/ml)	MMM (0-5)	MT (%)	MIP (%)	Vigor (0-5)	EV (%)
Otoño (n=48)	0.9 ±0.1 ^a	7.0 ±0.1	3,405 ±149 ^a	3,236 ±272 ^a	4.3 ±0.3 ^a	79.8 ±3.7 ^a	80.2 ±3.3	4,1 ±0.3 ^a	62.3 ±2.7 ^b
Invierno (n=48)	0.9 ±0.1 ^a	7.0 ±0.1	3,396 ±149 ^a	2,795 ±286 ^{ab}	3.7 ±0.3 ^{bc}	76.9 ±3.7 ^a	80.8 ±3.3	3.8 ±0.3 ^{ab}	69.1 ±2.7 ^{ab}
Primavera (n=48)	0.7 ±0.1 ^b	7.0 ±0.1	3,347 ±150 ^a	2,255 ±248 ^b	4.0 ±0.3 ^{ab}	75.0 ±3.7 ^{ab}	79.6 ±3.3	4.2 ±0.3 ^a	64.4 ±2.7 ^{ab}
Verano (n=48)	0.8 ±0.1 ^{ab}	7.0 ±0.1	2,965 ±149 ^b	2,341 ±240 ^b	3.3 ±0.3 ^c	70.1 ±3.7 ^b	77.8 ±3.3	3.5 ±0.3 ^b	71.4 ±2.7 ^a

^{abc} Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente (prueba de Tukey; p<0.05)

n = N.º de eyaculados; VOL: Volumen seminal; pH: pH seminal; CONC: Concentración espermática; TESPZ: Total de espermatozoides; MMM: Motilidad de masa microscópica; MT: Motilidad total; MIP: Motilidad individual progresiva; EV: Espermatozoides vivos

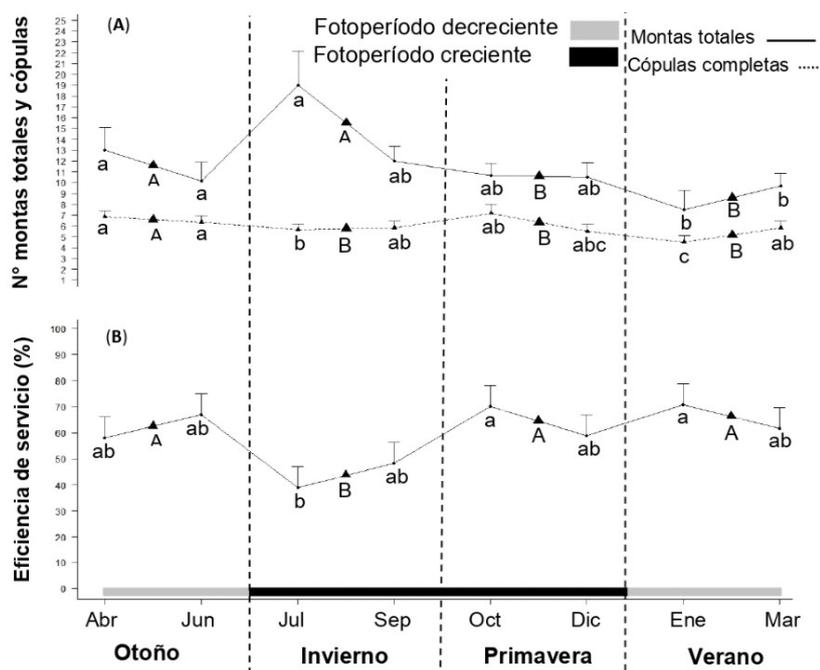


Figura 3. Variación mensual (promedio \pm EE) del número de montas totales, cópulas completas (A) y eficiencia de servicio (%) (B) (\blacktriangle contrastes entre estaciones) en carneros Highlander. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

continuar con una escasa variación ($p > 0.05$) hasta el final del periodo de evaluación. Sin embargo, al analizar los promedios de cada estación, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el invierno (15 montas) respecto de la primavera (10) y el verano (8.5) (Figura 3A). No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los porcentajes promedio mensuales de la eficiencia de servicio dentro de cada estación; sin embargo, se detectó un menor ($p < 0.05$) valor en el invierno (44%) (Figura 3B) al analizar las diferencias en los porcentajes promedio entre estaciones.

La Figura 4 muestra que la mayor ($p < 0.05$) concentración de testosterona plasmática fue determinada en el verano (enero: 15.2 ± 4.32 ng/ml), disminuyendo en forma constante hasta el final del invierno (agosto: 0.12 ± 0.1 ng/ml).

Entre las variables con correlaciones positivas superiores a 0.5, se observó que las variaciones de la CE se asociaron con el volumen y el peso testicular. Asimismo, el peso y el volumen testicular presentaron una relación directa. La regresión lineal indica que, a medida que aumentó 1.0 cm la CE, aumentó 24.0 cm^3 el volumen y 24.0 g el peso testicular ($R^2 = 0.61$). Por otro lado, la concentración de testosterona plasmática estuvo asociada con las horas luz/día (Cuadro 2).

Los resultados de calidad espermática de los 192 eyaculados se presentan en el Cuadro 3. En primavera se observó un menor volumen comparado con el otoño e invierno ($p < 0.05$), sin embargo, no se observaron diferencias con el verano. Los valores del total de espermatozoides fueron más altos en otoño e invierno ($p < 0.05$) y la concen-

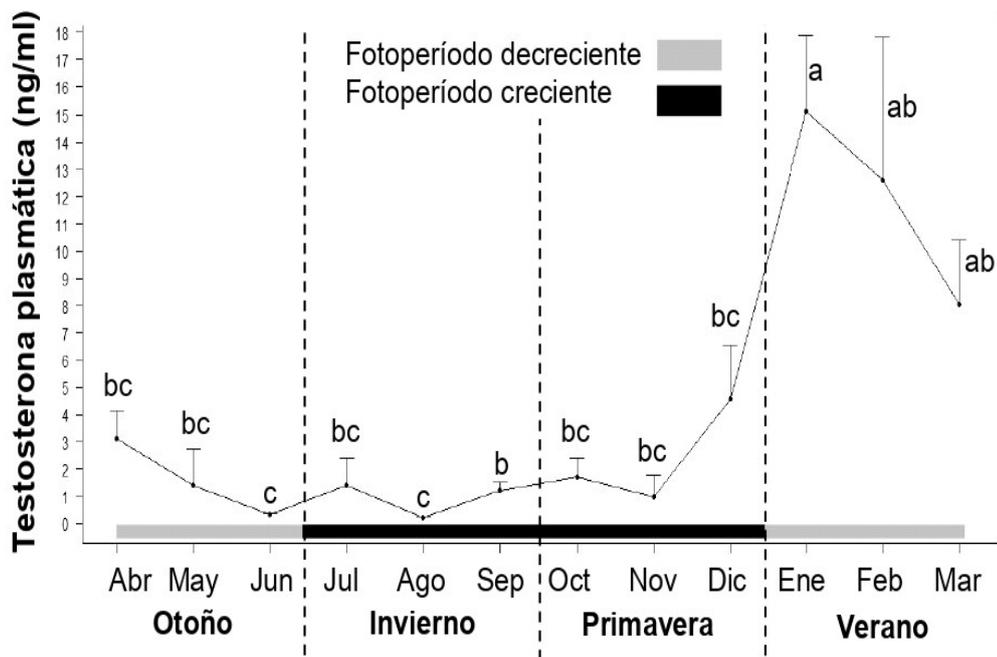


Figura 4. Variación mensual (promedio \pm EE) de la concentración plasmática de testosterona en carneros Highlander. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

tración espermática, la motilidad de masa microscópica, la motilidad total y el vigor fueron más bajos en el verano ($p < 0.05$). De otra parte, no se observaron diferencias significativas entre estaciones en pH y motilidad individual progresiva ($p > 0.05$). El porcentaje de espermatozoides vivos fue menor ($p < 0.05$) en el otoño comparado con el verano. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el porcentaje de espermatozoides normales entre estaciones.

El porcentaje de espermatozoides con anomalías a nivel de la cabeza se incrementó desde el otoño e invierno hasta alcanzar el máximo ($p < 0.05$) en el verano. En el otoño se observó el mayor ($p < 0.05$) porcentaje de espermatozoides con anomalías a nivel de la pieza intermedia y en el verano el menor ($p < 0.05$) porcentaje de espermatozoides con anomalías a nivel de la cola (Cuadro 4).

DISCUSIÓN

Los datos del presente trabajo muestran que los carneros Highlander mantienen sus características reproductivas a través de las cuatro estaciones, y con valores dentro del rango para la especie. No obstante, se observaron fluctuaciones estacionales en la concentración de testosterona circulante, circunferencia escrotal, peso y volumen testicular, con máximos valores en el verano y otoño (fotoperíodo decreciente). Por otro lado, los parámetros de calidad seminal evaluados fueron superiores en el otoño e invierno.

El peso vivo de los carneros aumentó en forma progresiva desde el inicio (otoño) del estudio, observándose más de 10% de aumento hacia el verano, debido a que el aporte energético/proteico de la dieta suministrada superó los requerimientos de mantenimien-

Cuadro 4. Anormalidades espermáticas (media±EE) en semen fresco de carneros Highlander (48 eyaculados por estación)

Parámetros seminales	EN (%)	EACA (%)	EAPI (%)	EAC (%)
Otoño	72.5±3.0	2.4±0.4 ^b	1.5±0.3 ^a	20.5±2.2 ^a
Invierno	73.6±3.0	2.2±0.3 ^b	0.3±0.1 ^b	22.7±2.3 ^a
Primavera	70.3±3.0	10.7±1.3 ^a	0.4±0.1 ^b	19.2±2.3 ^a
Verano	73.2±3.0	12.4±1.0 ^a	0.5±0.1 ^b	10.1±1.9 ^b

^{ab}Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente (prueba de Tukey; $p < 0.05$)

EN: Espermatozoides normales; EACA: Anormalidades de cabeza; EAPI: Anormalidades de pieza intermedia; EAC: Anormalidades de cola

to. La CC se mantuvo constante durante el año, observándose un aumento al final del estudio (verano).

La actividad gonadal está regulada por cambios en la duración de las horas luz/día (fotoperiodo) (Lincoln *et al.*, 1990; Dickson y Sanford, 2005; Gómez-Brunet *et al.*, 2008; Sarlós *et al.*, 2013). Asimismo, el tamaño de los testículos es un buen indicador de la capacidad espermatogénica de un semental (Coulter y Foote, 1979; Toe *et al.*, 2000). De otra parte, la CE tiene una alta correlación con el peso y el volumen testicular (Notter *et al.*, 1981; Bailey *et al.*, 1998). En el presente trabajo, la mayor CE se registró en las estaciones de verano y otoño (fotoperiodo decreciente) y la menor, en invierno y primavera (fotoperiodo creciente). Similar comportamiento se observó en los parámetros de biometría testicular (peso y volumen), los cuales, a su vez, presentaron una correlación positiva con la CE, lo cual concuerda con otros reportes en razas como Texel, Suffolk e Ile de France (Mandiki *et al.*, 1998), Corriedale (Gastel *et al.*, 1995) y Karakul (Kafi *et al.*, 2004). Cox *et al.* (2015) encontraron en carneros Highlander adultos en Chile una mayor CE en la época reproductiva

(38.1 cm) que en este estudio (34.0 cm), diferencia que no puede ser atribuida a la calidad nutricional (Brown, 1994) ya que la ración suministrada fue adecuada.

En la prueba de capacidad de servicio se tuvieron en cuenta los tiempos de evaluación indicados por Ibarra *et al.* (1999) y Cox *et al.* (2015), reduciendo la duración de la prueba de 40 a 20 minutos, haciéndola más práctica y sin perder eficacia en la detección de carneros con alta y baja capacidad de servicio. La capacidad de servicio tiene una moderada heredabilidad (0.22) y alta repetibilidad (0.72) (Snowder *et al.*, 2002) y se requieren de al menos seis pruebas individuales para obtener una fiabilidad del 95% (Stellflug y Berardinelli, 2002). La capacidad de servicio se manifestó durante todo el año; sin embargo, el mayor número de cópulas completas se registró en el otoño y el mayor número de montas totales en el invierno (Figura 3). El primer caso, se podría explicar que fue debido a una mayor libido asociada al fotoperiodo decreciente, el cual actúa regulando positivamente la secreción de gonadotrofinas (Bustos Obregón y Torres, 2012); sin embargo, el número de montas totales estuvo asociado al fotoperiodo crecien-

te. Similares resultados fueron reportados por Schanbacher y Lunstra (1976) para las razas Suffolk y Finnish Landrace (componente genético de la raza Highlander) y por D'Occhio y Brooks (1983) para las razas Border Leicester, Poll Dorset, Romney y Suffolk. En contraste, Kafi *et al.* (2004) observaron un menor número de cópulas completas en el otoño y un mayor número en el invierno para la raza Karakul.

La eficiencia de servicio es la capacidad que posee un reproductor para realizar una monta y que la misma finalice en una cópula completa. En el presente estudio la eficiencia de servicio disminuyó en el invierno (Figura 3), por lo que los carneros debieron realizar un mayor número de montas por cada cópula completa. El análisis en conjunto de la capacidad y de la eficiencia de servicio, indicaría que, si bien la libido no es inhibida completamente, se observa una estacionalidad para estas variables. Los resultados indican que la eficiencia de servicio podría ser utilizada para seleccionar carneros con mayor eficiencia para aumentar la fertilidad de las majadas en programas intensivos de reproducción (Stellflug *et al.*, 2008).

Las mayores concentraciones de testosterona plasmática se observaron en el verano, especialmente en enero, indicando una influencia del fotoperiodo creciente. Es conocido que previo a la época reproductiva, ocurre un aumento de los receptores para FSH y LH en el testículo, siendo estos últimos los encargados de estimular las células de Leydig, promoviendo la secreción de testosterona (Pelletier *et al.*, 1982). Por lo tanto, este evento parecería ser un requisito previo para estimular al testículo a la máxima actividad estacional y podría estar relacionado con la duración (49 días) de la espermatogénesis en ovinos (Sanford *et al.*, 1974; Lincoln *et al.*, 1990). Por otro lado, Aller *et al.* (2012) reportaron un comportamiento similar en carneros Corriedale y Pampinta en Argentina.

La estación del año, frecuencia de extracción del semen, temperatura ambiental, enfermedades subyacentes, estado nutricional y la edad del reproductor influyen sobre la calidad seminal (Kafi *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2012). En el presente estudio, el pH del semen estuvo en un rango aceptable (6.9-7.2), indicando el buen estado de salud de los carneros y del manejo del semen desde su extracción hasta su procesamiento. Demoras en la evaluación del semen produce una acidificación de la muestra (Zamiri *et al.*, 2010). El menor volumen seminal se registró en la primavera, en tanto que la menor concentración espermática se registró en el verano, periodo que se inicia cuando las horas luz/día decrecen en la latitud en estudio (a partir del 21 de diciembre en el hemisferio sur); por lo que, posiblemente en la estación de verano, la eficiencia cuantitativa de la espermatogénesis podría encontrarse disminuida (Amir *et al.*, 1986).

Cox *et al.* (2015) obtuvieron en carneros Highlander un mayor volumen seminal (1.54 ml) y una menor concentración espermática (2850 millones/ESPZ/ml) que lo observado en el presente estudio. Por otro lado, el número total de espermatozoides fue menor en la primavera y el verano, pero esta disminución no tuvo relación con la concentración espermática, por lo que este efecto es atribuido al menor volumen seminal obtenido en dichas estaciones. Los parámetros cinéticos de movilidad espermática (motilidad de masa microscópica, motilidad total y vigor) disminuyeron principalmente en el verano; sin embargo, la motilidad individual progresiva no varió entre estaciones. La disminución de la cinética espermática podría estar asociada a un menor aporte de energía en primavera por parte de las glándulas vesiculares, influenciada por la baja concentración de testosterona (Pelletier *et al.*, 1982).

El porcentaje total de anomalías espermáticas no varió entre estaciones, pero se pudo observar diferencias en los porcentajes relativos de las diferentes anomalías.

des entre estaciones. Los mayores porcentajes de anomalías a nivel de la cabeza se encontraron en primavera y verano, de pieza intermedia en el otoño, y de cola en el otoño, invierno y primavera. Parte de la explicación podría atribuirse a la mayor temperatura ambiental registrada en el fotoperiodo decreciente (40.7 °C), la cual causa un estrés térmico a nivel testicular (Williamson, 1974). Por otro lado, Mickelsen *et al.* (1981) determinaron que a menor circunferencia escrotal se observó un mayor porcentaje de espermatozoides anormales y este efecto, probablemente, se encuentre asociado negativamente a la producción cualitativa de la espermiogénesis en respuesta a un fotoperiodo creciente, lo que explicaría las anomalías de cola observadas en el invierno en el presente estudio.

CONCLUSIONES

- Las variables físicas (circunferencia escrotal, peso y volumen testicular) en los carneros Highlander varían con la estación del año, con mayores valores en verano y otoño (fotoperiodo decreciente).
- El número de montas completas fue mayor en otoño y la eficiencia de servicio fue menor en invierno (fotoperiodo creciente).
- La concentración de testosterona plasmática presentó un patrón estacional, registrándose los máximos valores a comienzo del verano.
- Los parámetros de calidad espermática fueron superiores en otoño e invierno.

Agradecimiento

Al personal auxiliar del Grupo de Reproducción Animal de la EEA INTA Balcarce por el manejo y cuidado de los animales. Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Proyecto PNSA 1115053) y Fundación ArgenINTA.

LITERATURA CITADA

1. **Agromeat. 2013.** Highlander, raza ovina de carne, Uruguay. Rev Vet Argentina 38. Disponible en: <https://www.veterinariargentina.com/revista/2013/06/highlander-raza-ovina-de-carne-uruguay/?hilito=highlander>
2. **Aller JF, Aguilar D, Vera T, Almeida GP, Alberio RH. 2012.** Seasonal variation in sexual behavior, plasma testosterone and semen characteristics of Argentine Pampinta and Corriedale rams. Span J Agr Res 10: 345-352. doi: 10.5424/sjar/2012102-389-11
3. **Amir D, Gacitua H, Ron M, Lehrer AR. 1986.** Seasonal variation in semen characteristics and the fertility of Finn cross rams subjected to frequent ejaculation. Anim Reprod Sci 10: 75-84. doi: 10.1016/0378-4320(86)90141-7
4. **Ax RL, Dally M, Didion BA, Lenz RW, Love CC, Varner DD, Hafez B, Bellin ME. 2000.** Evaluación de semen. En: Reproducción e inseminación artificial en animales. Hafez ES, Hafez B (eds). 7º ed. México: McGraw-Hill Interamericana. p 375-386.
5. **Bailey TL, Hudson RS, Powe TA, Riddell MG, Wolfe DF, Carson RL. 1998.** Caliper and ultrasonographic measurements of bovine testicles and a mathematical formula for determining testicular volume and weight in vivo. Theriogenology 49: 581-594. doi: 10.1016/S0093-691X(98)00009-0
6. **Boyd GW, Healy VM, Mortimer RG, Piotrowski JR. 1991.** Serving capacity tests are unable to predict the fertility of yearling bulls. Theriogenology 36: 1015-1025. doi: 10.1016/0093-691X(91)90326-9
7. **Brown BW. 1994.** A review of nutritional influences on reproduction in boars, bulls and rams. Reprod Nutr Dev 34: 89-114. doi: 10.1051/rnd:19940201
8. **Bustos Obregón E, Torres L. 2012.** Reproducción estacional en el macho. Int J Morphol 30: 1266-1279. doi: 10.4067/S0717-9502201200040000

9. **Coulter GH, Foote RH. 1979.** Bovine testicular measurements as indicators of reproductive performance and their relationship to productive traits in cattle: a review. *Theriogenology* 11: 297-311. doi: 10.1016/0093-691X(79)90072-4
10. **Cox JF, Jeria E, Bocic A, Vera N, Soto-Saravia R, Dorado J. 2015.** Characterization of the productive performance of Highlander sheep in Southern Chile. II. Male reproductive traits. *Small Ruminant Res* 130:189-192. doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.07.004
11. **D'Occhio J, Brooks D. 1983.** Seasonal changes in plasma testosterone concentration and mating activity in Border Leicester, Poll Dorset, Romney and Suffolk rams. *Aus J Exp Agr* 23: 248-252. doi: 10.1071/EA9830248
12. **Deepayan S. 2008.** Lattice: multivariate data visualization with R. New York: Springer. 273 p.
13. **Dickson KA, Sanford LM. 2005.** Breed diversity in FSH, LH and testosterone regulation of testicular function and in libido of young adult rams on the southeastern Canadian prairies. *Small Ruminant Res* 56: 189-203. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.06.002
14. **Gastel T, Bielli A, Perez R, Lopez A, Castrillejo A, Tagle R, Franco J, Laborde D, Forsberg M, Rodriguez-Martinez H. 1995.** Seasonal variations in testicular morphology in Uruguayan Corriedale rams. *Anim Reprod Sci* 40: 59-75. doi: 10.1016/0378-4320(95)01402-L
15. **Gómez-Brunet A, Santiago-Moreno J, del Campo A, Malpoux B, Chemineau P, Tortonese DJ, Gonzalez-Bulnes A, et al. 2008.** Endogenous circannual cycles of ovarian activity and changes in prolactin and melatonin secretion in wild and domestic female sheep maintained under a long-day photoperiod. *Biol Reprod* 78: 552-562. doi: 10.1095/biolreprod.107.064394
16. **Ibarra D, Laborde D, Olivera J, Van Lier E, Burgueño J. 1999.** Comparación de tres pruebas para medir la capacidad de servicio en carneros adultos. *Arch Med Vet* 31: 189-196. doi: 10.4067/S0301-732X1999000200005.
17. **Kafi M, Safdarian M, Hashemi M. 2004.** Seasonal variation in semen characteristics, scrotal circumference and libido of Persian Karakul rams. *Small Ruminant Res* 53: 133-139. doi: 10.1016/j.smallrumres.2003.07.007
18. **Knight TW. 1977.** Methods for the indirect estimation of testes weight and sperm numbers in Merino and Romney rams. *New Zeal J Agr Res* 20: 291-296. doi: 10.1080/00288233.1977.10427337
19. **Lincoln GA, Lincoln CE, Mcneilly AS. 1990.** Seasonal cycles in the blood plasma concentration of FSH, inhibin and testosterone, and testicular size in rams of wild, feral and domesticated breeds of sheep. *J Reprod Fertil* 88: 623-633. doi: 10.1530/jrf.0.0880623
20. **Mandiki SNM, Derycke G, Bister JL, Paquay R. 1998.** Influence of season and age on sexual maturation parameters of Texel, Suffolk and Ile de France rams: 1. Testicular size, semen quality and reproductive capacity. *Small Ruminant Res* 28: 67-79. doi: 10.1016/S0921-4488(97)00073-4
21. **Mickelsen WD, Paisley LG, Dahmen J.J. 1981.** The effect of scrotal circumference, sperm motility and morphology in the ram on conception rates and lambing percentage in the ewe. *Theriogenology* 16: 53-59. doi: 10.1016/0093-691X(81)90113-8
22. **Notter DR, Lucas JR, McClaugherty FS. 1981.** Accuracy of estimation of testis weight from in situ testis measures in ram lambs. *Theriogenology* 15: 227-234. doi: 10.1016/S0093-691X(81)80011-8
23. **Pelletier J, Garnier DH, de Reviers MM, Terqui M, Ortavant R. 1982.** Seasonal variation in LH and testosterone release in rams of two breeds. *J Reprod Fertil* 64: 341-346. doi: 10.1530/jrf.0.0640341
24. **Pinheiro J, Bates D, Debroy S, Deepayan Sarkar D, R Development Core Team. 2013.** nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R pac-

- kage version 3.1-113. [Internet]. Available in: <https://rdrr.io/cran/nlme/man/nlme.html>
25. **R Core Team. 2016.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Available in: <https://www.R-project.org/>
 26. **Rissington Company. 2001.** Highlander: prolificidad y eficiencia. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11018/1/188p33.pdf>
 27. **Rosa HJD, Bryant MJ. 2002.** The 'ram effect' as a way of modifying the reproductive activity in the ewe. *Small Ruminant Res* 45: 1-16. doi: 10.1016/S0921-4488(02)00107-4
 28. **Rosa HJD, Silva CC, Bryant MJ. 2012.** The effect of melatonin treatment in rams on seasonal variation of testicular size and semen production parameters. *Small Ruminant Res* 102: 197-201. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.06.012
 29. **Russel AJF, Doney JM, Gunn RG. 1969.** Subjective assessment of fat in live sheep. *J Agr Sci-Cambridge* 72: 451-454. doi: 10.1017/S0021859600024874
 30. **Sanchez E, Papaleo Mazzucco J, Berger H. 2014.** Comportamiento productivo de corderas a su primer otoño de vida. 2: desempeño reproductivo. En: *Experiencias prácticas sobre ganadería en el territorio Centro-Sur de Buenos Aires*. Balcarce: INTA. p 291-292.
 31. **Sanford LM, Winter JSD, Palmer WM, Howland BE. 1974.** The profile of LH and testosterone secretion in the ram. *Endocrinology* 95: 627-631. doi: 10.1210/endo-95-2-627
 32. **Sarlós P, Egerszegi I, Balogh O, Molnár A, Cseh S, Rátky J. 2013.** Seasonal changes of scrotal circumference, blood plasma testosterone concentration and semen characteristics in Racka rams. *Small Ruminant Res* 111: 90-95. doi: 10.1016/j.smallrumres.-2012.-11.036
 33. **Schanbacher BD, Lunstra DD. 1976.** Seasonal changes in sexual activity and serum levels of LH and testosterone in Finnish Landrace and Suffolk rams. *J Anim Sci* 43: 644-650. doi: 10.2527/jas1976.433644x
 34. **[SHN] Servicio de Hidrografía Naval. 2017.** Disponible en: <http://www.hidro.gov.ar/>
 35. **[SIGA-INTA] Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica-INTA. 2017.** Disponible en: <http://siga2.inta.gob.ar/#/>
 36. **Snowder GD, Stellflug JN, Van Vleck LD. 2002.** Heritability and repeatability of sexual performance scores of rams. *J Anim Sci* 80: 1508-1511. doi: 10.2527/2002.8061508x
 37. **Stellflug JN, Berardinelli JG. 2002.** Ram mating behavior after long-term selection for reproductive rate in Rambouillet ewes. *J Anim Sci* 80: 2588-2593. doi: 10.1093/ansci/80.10.2588
 38. **Stellflug JN, Cockett EN, Lewis GS. 2008.** The influence of breeding intensity on above- and below-average sexual performance rams in single- and multiple-sire breeding environments. *J Anim Sci* 104: 248-256. doi: 10.1016/j.anireprosci.2007.02.017
 39. **Toe F, Rege JEO, Mukasa-Mugerwa E, Tembely S, Anindo D, Baker RL, Lahlou-Kassi A. 2000.** Reproductive characteristics of Ethiopian highland sheep I. Genetic parameters of testicular measurements in ram lambs and relationship with age at puberty in ewe lambs. *Small Ruminant Res* 36: 227-240. doi: 10.1016/S0921-4488(99)00117-0
 40. **Williamson P. 1974.** The fine structure of ejaculated ram spermatozoa following scrotal heating. *J Reprod Fertil* 40: 191-195. doi: 10.1530/jrf.0.0400191
 41. **Zamiri MJ, Khalili B, Jafaroghli M, Farshad A. 2010.** Seasonal variation in seminal parameters, testicular size, and plasma testosterone concentration in Iranian Moghani rams. *Small Ruminant Res* 94: 132-136. doi: 10.1016/j.smallrumres.2010.07.013