

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



Las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides de los machos cabríos disminuyen durante la estación sexual al permanecer en un sistema de producción semiextensivo

Por:

ESLI YARETT LÓPEZ MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Noviembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de espermatozoides de los machos cabríos disminuyen durante la estación sexual al permanecer en un sistema de producción semiextensivo

Por:

ESLI YARETT LÓPEZ MARTÍNEZ

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

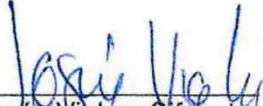
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Presidente


Dra. Luz María Tejada Ugarte
Vocal


Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Vocal (externo)


Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Vocal Suplente


MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México

Noviembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de espermatozoides de los machos cabríos disminuyen durante la estación sexual al permanecer en un sistema de producción semiextensivo

Por:

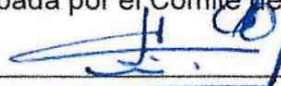
ESLI YARETT LÓPEZ MARTÍNEZ

TESIS

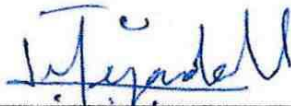
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

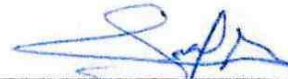
Aprobada por el Comité de Asesoría:




Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Asesor Principal



Dra. Luz María Tejada Ugarte
Coasesor



Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Coasesor (externo)



MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Noviembre 2021



AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero agradecer a todas y cada una de las personas que me acompañaron durante todo este trayecto; en primer lugar, a **DIOS**, por brindarme salud, fortaleza y capacidad, por guiarme durante toda mi vida y por permitirme concluir con éxito una de mis metas propuestas.

A mis padres, **Martha Lilia Martínez** y **Luis Alonso López** los cuales con amor, esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar esta hermosa carrera universitaria y me dieron su apoyo para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible, por inculcar en mi esfuerzo y valentía ante cualquier situación que se presentara.

A mi hermano **Jonathan Alonso López**, por llenarme de alegría día con día y por su apoyo incondicional; eres una persona única en mi vida.

A mi novio **José Luis Magaña**, quien durante más de 4 años ha sido mi compañero de estudio, el que me impulsa a ser mejor día a día en mi vida profesional como personal.

A mis amigas **Fernanda, Liliana, Julissa** y **Jennifer**, quienes nunca me dejaron sola, y me acompañaron en mi hermoso paso por la universidad; a mi amiga **Miriam**, amiga de más de 8 años quien siempre me apoyó para terminar mi licenciatura; las llevo por siempre en mi corazón.

A mi comité de asesoría de tesis, Dres. **José Alberto Delgadillo Sánchez, Luz María Tejada Ugarte, Manuel de Jesús Flores Nájera** y **Jesús Vielma Sifuentes**, quienes me dieron la oportunidad de trabajar de su mano en este proyecto. Gracias por su tiempo, dedicación y sobre todo por su apoyo.

A mi querida **ALMA MATER, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, que gracias a ella estoy hoy escribiendo mi tesis para culminar mi licenciatura de Médico Veterinario Zootecnista. Gracias por abrirme sus puertas, por darme los conocimientos, aprendizajes y herramientas a través de todos los profesores.

Y gracias a todos y cada una de las personas que estuvieron para mí, que me apoyaron incondicionalmente y estuvieron presentes en esta etapa tan bonita en mi vida hemos logrado que este sueño se esté haciendo realidad.

DEDICATORIA

CON MUCHO CARIÑO PARA:

DIOS:

Quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

MIS PADRES:

Martha Lilia Martínez Fernández y Luis Alonso López Jaquez por haber sido quienes me impulsaron con amor a lograr esta meta más en mi vida y por llenar mi vida con sus valiosos consejos.

MI HERMANO:

Jonathan Alonso López Martínez por ser mi compañero fiel durante toda mi vida.

MI NOVIO:

José Luis Magaña por darme su apoyo, amor, por compartir conmigo conocimientos, experiencias, por creer en mí; en mis sueños y por impulsarme a cumplir todo lo que me propongo.

A MIS AMIGOS:

Quienes sin esperar nada a cambio, compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, y me extendieron su mano en momentos difíciles.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar si las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides de los machos cabríos durante la estación sexual se reducen al permanecer en un sistema de producción semiextensivo. En marzo, los machos se asignaron a dos grupos (n=5 cada uno). Los machos del grupo control se estabularon y se aislaron de las hembras. A cada macho se le ofreció diariamente 2 kg de heno de alfalfa por día. Los machos del grupo experimental se incorporaron a un rebaño caprino de 90 hembras que se encontraban en un sistema de producción semiextensivo. Estos machos portaron un mandil para evitar que penetraran a las hembras. Machos y hembras salían al campo diariamente durante 7 horas, y se alimentaban de la vegetación natural de los agostaderos. Al regresar del campo, los animales eran alojados en un corral sombreado. El estudio se realizó durante 12 meses, de marzo 2020 a febrero 2021. Las concentraciones plasmáticas de testosterona se determinaron cada 15 días. La latencia a la eyaculación se determinó durante la recolección de los eyaculados. Para ello, los machos tenían 3 minutos para eyacular en una vagina artificial, al exponerlos a una hembra inducida al estro. La calidad de los espermatozoides se determinó a través de la motilidad progresiva y el porcentaje de espermatozoides móviles en 3 eyaculados obtenidos al final de cada mes: al inicio (mayo y junio), a la mitad (agosto y octubre) y al final (noviembre y diciembre) de la estación sexual. Las concentraciones plasmáticas de testosterona variaron durante el tiempo del estudio ($P < 0.001$) y hubo una interacción entre el tiempo del estudio y grupo ($P < 0.001$). En los machos control, las concentraciones de

testosterona fueron superiores que los machos experimentales de mayo a diciembre ($P < 0.05$). La latencia a la eyaculación varió durante el estudio ($P < 0.01$), y ésta fue inferior en los machos testigo comparada con los experimentales ($P < 0.05$). La motilidad progresiva de los espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides móviles variaron durante el tiempo del estudio ($P < 0.001$). En los machos del grupo control, la motilidad de los espermatozoides y los porcentajes de espermatozoides móviles fueron más altos que en los machos experimentales durante el estudio, excepto en agosto ($P < 0.05$). Se concluye que las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual determinado por la latencia a la eyaculación y la calidad de los espermatozoides disminuyen en los machos cabríos mantenidos en un sistema de producción semiextensivo, comparados con aquellos mantenidos en un sistema de producción estabulado.

Palabras clave: Caprinos, Estacionalidad sexual, Producción espermática, Sistema de producción, Subtrópicos

Contenido

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
Estacionalidad reproductiva de los machos cabríos del norte subtropical de México	2
Control fotoperiódico de la estacionalidad sexual de los machos cabríos	2
El nivel nutricional y la exposición directa a los rayos solares modifica la estacionalidad sexual de los machos cabríos	3
El sistema de producción semiextensivo es el predominante en la Comarca Lagunera	4
OBJETIVO	5
HIPÓTESIS	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Descripción general del área de estudio	6
Descripción de los machos cabríos y del sistema de producción	6
Variables determinadas	7
Concentraciones plasmáticas de testosterona	7
Frecuencia de la colecta de los eyaculados	7
Latencia a la eyaculación	8
Motilidad progresiva y porcentaje de espermatozoides móviles	8
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	9
RESULTADOS	10
Concentraciones plasmáticas de testosterona	10
Latencia a la eyaculación	12
Motilidad progresiva y porcentaje de espermatozoides móviles	12
DISCUSIÓN	15
CONCLUSIÓN	18
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

INTRODUCCIÓN

Los caprinos de la Comarca Lagunera se encuentran predominantemente en un sistema de producción semiextensivo, en el cual machos y hembras se alimentan principalmente de la vegetación natural de los agostaderos. Para alimentarse, los animales recorren diariamente de 5 a 8 kilómetros de 10:00 a 18:00 horas. Después del pastoreo, los animales son alojados en corrales abiertos cerca del domicilio del productor. En la Comarca Lagunera, la disponibilidad y la calidad nutricional de la vegetación de los agostaderos varían de manera estacional, y disminuyen de noviembre a mayo, debido a la ausencia o reducción de la precipitación pluvial. La disminución de la disponibilidad alimenticia provoca una subnutrición de los machos durante las estaciones de reposo y actividad sexual. Esta subnutrición podría disminuir las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides durante la estación sexual, y por consiguiente, la capacidad fecundante de los machos cabríos. En el presente estudio se determinó si las variables antes mencionadas disminuyen en los machos cabríos mantenidos en un sistema de producción semiextensivo.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Estacionalidad reproductiva de los machos cabríos del norte subtropical de México

Los caprinos del norte subtropical de México, y en particular los de la Comarca Lagunera, muestran variaciones estacionales de su actividad sexual (Delgadillo *et al.*, 1999; Duarte *et al.*, 2008). En los machos cabríos locales de la Comarca Lagunera, la estación sexual inicia a finales de la primavera o principios del verano (Junio), y termina a finales del otoño o principios del invierno (Diciembre; Delgadillo *et al.*, 1999). Durante la estación sexual aumentan las concentraciones plasmáticas de testosterona y el peso testicular, y se acorta la latencia a la eyaculación. Además, se mejora la calidad de los espermatozoides, aumentando su motilidad progresiva y el porcentaje de espermatozoides móviles (Delgadillo *et al.*, 1999). La estacionalidad reproductiva de los machos locales de las Comarca Lagunera coincide con la reportada en otras razas caprinas de latitudes subtropicales (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Giriboni *et al.*, 2017).

Control fotoperiódico de la estacionalidad sexual de los machos cabríos

La actividad reproductiva de los machos cabríos está influenciada principalmente por los cambios anuales del fotoperiodo, a través de la secreción de melatonina por la glándula pineal (Delgadillo *et al.*, 2001). La melatonina se secreta solamente por la noche, y la duración de su secreción es lo que determina la secreción de gonadotrofinas, y consecuentemente, la estacionalidad sexual de los machos

cabríos (Delgadillo *et al.*, 2001). Así, en los machos expuestos a las variaciones naturales del fotoperiodo, la secreción de melatonina es más prolongada durante los días con menos horas luz (días cortos), lo que estimula la secreción de la hormona luteinizante (LH) y la testosterona, desencadenando la estación sexual. En cambio, la secreción de melatonina es más corta durante los días con más horas luz (días largos), lo que inhibe la secreción de la LH y la testosterona, desencadenando la estación de reposo sexual (Delgadillo y Chemineau, 1992; Delgadillo *et al.*, 2004). En condiciones experimentales, en las que los machos se sometieron a 2 o 3 meses de días cortos seguidos de 2 o 3 meses de días largos, la secreción de LH y testosterona se incrementó durante los días cortos y se inhibió durante los días largos (Delgadillo y Chemineau, 1992; Delgadillo *et al.*, 2004). Estos resultados muestran que los machos cabríos de latitudes subtropicales son sensibles al fotoperiodo, y que la duración del día es el factor ambiental que sincroniza su estacionalidad sexual.

El nivel nutricional y la exposición directa a los rayos solares modifica la estacionalidad sexual de los machos cabríos

Aunque el fotoperiodo es el factor principal que determina la estacionalidad sexual de los machos cabríos de latitudes subtropicales, la nutrición puede modificar de manera importante esta estacionalidad (Delgadillo *et al.*, 2020, 2021). En efecto, en los machos cabríos estabulados, subalimentados y expuestos a las variaciones del fotoperiodo natural, la duración de la estación sexual, la talla testicular, las concentraciones plasmáticas de testosterona, la intensidad del comportamiento

sexual, y la calidad de los espermatozoides, son inferiores a las registradas en los machos bien alimentados (Walkden-Brown *et al.*, 1994). Asimismo, en los machos cabríos expuestos a días largos en un sistema de producción semiextensivo, en el cual los animales consumían solamente la flora nativa de los agostaderos, y por ende, estaban subalimentados, la circunferencia testicular, la secreción de testosterona y el comportamiento sexual fueron inferiores comparados con los machos bien alimentados (Delgadillo *et al.*, 2021). Otro factor que puede modificar la estacionalidad sexual y la eficacia reproductiva de los machos es la exposición directa a los rayos solares, lo que reduce la producción diaria de espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides vivos, y aumenta el porcentaje de espermatozoides con anomalías (Meyerhoeffer *et al.*, 1985; Shahat *et al.*, 2020). Estos resultados muestran que la subalimentación y la exposición directa a los rayos solares disminuyen las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos.

El sistema de producción semiextensivo es el predominante en la Comarca Lagunera

En la Comarca Lagunera, la mayor parte de los hatos caprinos utilizan el sistema de producción semiextensivo. En este sistema, los animales se alimentan principalmente de la vegetación de los agostaderos, y para ello, caminan de 5 a 8 kilómetros diariamente durante alrededor 8 horas por día. En la noche, los animales son alojados en corrales abiertos (Andrade-Esparza *et al.*, 2018; Delgadillo *et al.*, 2020). En la Comarca Lagunera, la disponibilidad de la vegetación en los

agostaderos depende de las lluvias, por lo que disminuye drásticamente de noviembre a mayo, provocando una subnutrición de los machos durante las estaciones de reposo sexual y estación sexual (Delgadillo y Martin, 2015). Por lo tanto, es probable que las características del sistema de producción semiextensivo reduzcan las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides de los machos cabríos de la Comarca Lagunera.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue determinar si las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides de los machos cabríos se reducen al encontrarse en un sistema de producción semiextensivo.

HIPÓTESIS

El sistema de producción semiextensivo reduce las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual y la calidad de los espermatozoides de los machos cabríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del área de estudio

El estudio se efectuó en la Comarca Lagunera en el estado de Coahuila, México (latitud 26°23'N y longitud 104°47'O). El fotoperiodo en esta región varía de 13 horas 41 minutos de luz en el solsticio de verano, a 10 horas 19 minutos de luz en el solsticio de invierno. El área se caracteriza por un clima seco con temperaturas promedio de 37°C de mayo a agosto y 6°C en diciembre y enero. La precipitación anual promedio es de 266 mm (rango: 163 a 504 mm) que ocurren generalmente entre junio y octubre, por lo que la época de sequía ocurre de noviembre a mayo (Duarte *et al.*, 2008).

Descripción de los machos cabríos y del sistema de producción

El estudio se realizó durante un año, de marzo a febrero, y se utilizaron 10 machos cabríos adultos de 4 a 5 años de edad, oriundos de la Comarca Lagunera. En el mes de marzo, los machos se asignaron a dos grupos (n=5 cada uno), tomando en cuenta sus pesos vivos y diámetros testiculares. Los machos del grupo testigo se estabularon, y a cada uno se le ofreció 2 kg de heno de alfalfa por día, sales minerales en block y agua a libre acceso (peso corporal: 72 ± 3 kg; diámetro testicular: 108 ± 1 mm; promedio ± error estándar del promedio). Los machos del grupo experimental se incorporaron a un hato de 90 hembras adultas, que se encontraba en un sistema de producción semiextensivo. En este sistema, los animales se alimentaban de la flora nativa de los agostaderos, sin recibir

suplementación alimenticia en el corral (peso corporal: 70 ± 3 kg; diámetro testicular: 113 ± 2 mm). Los machos y las hembras salían al campo diariamente de las 10:00 a las 16:00 horas. Al regresar del pastoreo, los animales eran resguardados en un corral abierto (10 x 10 m) con sombra, donde contaban con agua a libre acceso y sales minerales en block. Durante el estudio, los machos del grupo experimental portaron un mandil para evitar que penetraran a las hembras que estuvieran en celo.

Variables determinadas

Concentraciones plasmáticas de testosterona

Las concentraciones plasmáticas de testosterona se determinaron cada 15 días en muestras sanguíneas obtenidas de la vena yugular de cada animal. Las muestras sanguíneas se centrifugaron a 2500 g durante 20 minutos, y el plasma obtenido se congeló a -20° C hasta la determinación de la testosterona por radioinmunoanálisis (Garnier *et al.*, 1978). La sensibilidad del ensayo fue de 0.1 ng/mL y el coeficiente de variación intraensayo fue del 7.5%.

Frecuencia de la colecta de los eyaculados

Durante la estación sexual previa al inicio del presente estudio, en diciembre, todos los machos se entrenaron para que eyacularan dentro de una vagina artificial al ponerlos en presencia de una hembra inducida al estro. Durante el estudio, los machos fueron solicitados para que eyacularan en cuatro ocasiones al final de cada

mes, al inicio (mayo y junio), a la mitad (agosto y octubre) y al final (noviembre y diciembre) de la estación sexual. En cada mes se obtuvo un eyaculado por día en dos días consecutivos, seguidos de un día de descanso. El primer eyaculado de cada mes de colecta no se consideró en los datos del estudio para evitar un posible efecto deletéreo sobre el semen por no haber eyaculado durante el mes (Delgadillo *et al.*, 1999). Los eyaculados se obtuvieron en tubos cónicos de 15 mL graduados en mililitros, y se evaluaron inmediatamente después de ser obtenidos.

Latencia a la eyaculación

La latencia a la eyaculación, indicadora de la intensidad del comportamiento sexual de los machos, se determinó durante el estudio. Cada macho tenía 3 minutos para eyacular en la vagina, y si no lo hacían, era regresado a su corral (Delgadillo *et al.*, 1991).

Motilidad progresiva y porcentaje de espermatozoides móviles

Una gota del eyaculado no diluido se colocó entre un portaobjetos y un cubreobjetos que se encontraban sobre una placa térmica a 37° C. Inmediatamente después se observó al microscopio con el objetivo de 40 X, y se determinó la motilidad progresiva de los espermatozoides, utilizando una escala de 1 (sin movimiento progresivo) a 5 (movimiento progresivo y rectilíneo), y el porcentaje de espermatozoides móviles (Delgadillo *et al.*, 1999).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las concentraciones plasmáticas de testosterona se analizaron utilizando un análisis de varianza a dos factores (grupo y tiempo del experimento), seguido de la comparación de los valores quincenales utilizando la prueba t de student. Debido a que los datos de la latencia a la eyaculación, la motilidad progresiva de los espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides móviles no tuvieron distribución normal, se compararon con la prueba U de Mann-Whitney. Los análisis estadísticos se hicieron utilizando el programa SYSTAT 13 (2009).

RESULTADOS

Concentraciones plasmáticas de testosterona

Las concentraciones plasmáticas de testosterona variaron durante el tiempo del estudio ($P < 0.001$) y hubo una interacción entre el tiempo del estudio y grupo ($P < 0.001$). En los machos control, las concentraciones plasmáticas de testosterona variaron de manera estacional, con concentraciones bajas de marzo a mayo. En junio, estas concentraciones se incrementaron y permanecieron elevadas hasta diciembre, para disminuir posteriormente hasta el final del estudio (Figura 1). En los machos experimentales, la concentración plasmática de testosterona fue más alta que en los machos control en marzo ($P < 0.05$). A partir de entonces, la testosterona varió de manera similar que en los machos control, pero los valores fueron inferiores que en machos control de junio a diciembre ($P < 0.05$). Considerando las concentraciones plasmáticas de testosterona, la estación sexual inició primero en los machos control que en los experimentales (29 de junio \pm 0 días vs. 24 de julio \pm 6 días; $P < 0.01$), y finalizó más tarde (4 de enero \pm 6 días vs. 5 de diciembre \pm 6 días; $P < 0.001$).

Concentraciones de testosterona (ng/mL)

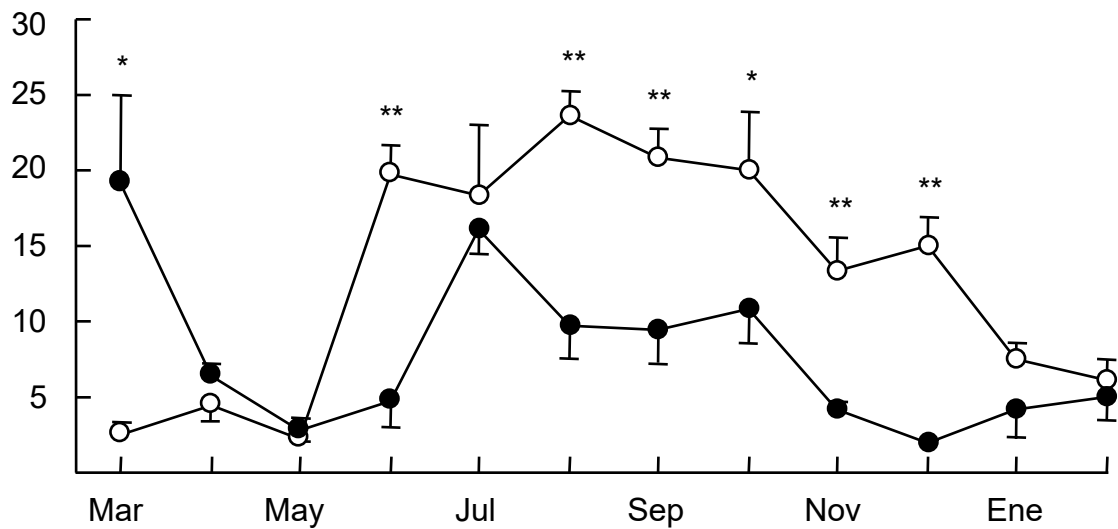


FIGURA 1. Concentraciones plasmáticas de testosterona (promedio \pm error estándar del promedio) de machos cabríos mantenidos en estabulación y alimentados diariamente con 2 kg de heno de alfalfa (○) o en condiciones semiextensivas y alimentados con la vegetación natural del agostadero (●).

*P < 0.05; **P < 0.01.

Latencia a la eyaculación

Las latencias a la eyaculación variaron durante el tiempo del estudio ($P < 0.01$; Figura 2 a). En los machos control, la latencia a la eyaculación no mostró variaciones importantes y fue menor que en los machos experimentales ($P < 0.05$). De hecho, en los machos control, la mayor latencia a la eyaculación fue de 55 ± 11 segundos en mayo, mientras que, en los machos experimentales, la latencia más baja fue de 73 ± 19 s en noviembre. Además, al inicio del estudio, en mayo y junio, ningún macho experimental eyaculó dentro de los 3 minutos de haber sido presentado a la hembra en estro.

Motilidad progresiva y porcentaje de espermatozoides móviles

La motilidad progresiva de los espermatozoides y los porcentajes de espermatozoides móviles variaron durante el tiempo del estudio ($P < 0.001$; Figura 2 b,c). En los machos control, la motilidad de los espermatozoides y los porcentajes de espermatozoides vivos fueron altos y no mostraron variaciones importantes a lo largo del estudio. En contraste, en los machos experimentales, estas dos variables fueron inferiores, en la mayoría de los meses, a los machos control ($P < 0.05$, Figura 2). En mayo y junio, la calidad de los espermatozoides no se pudo determinar porque los machos no eyacularon.

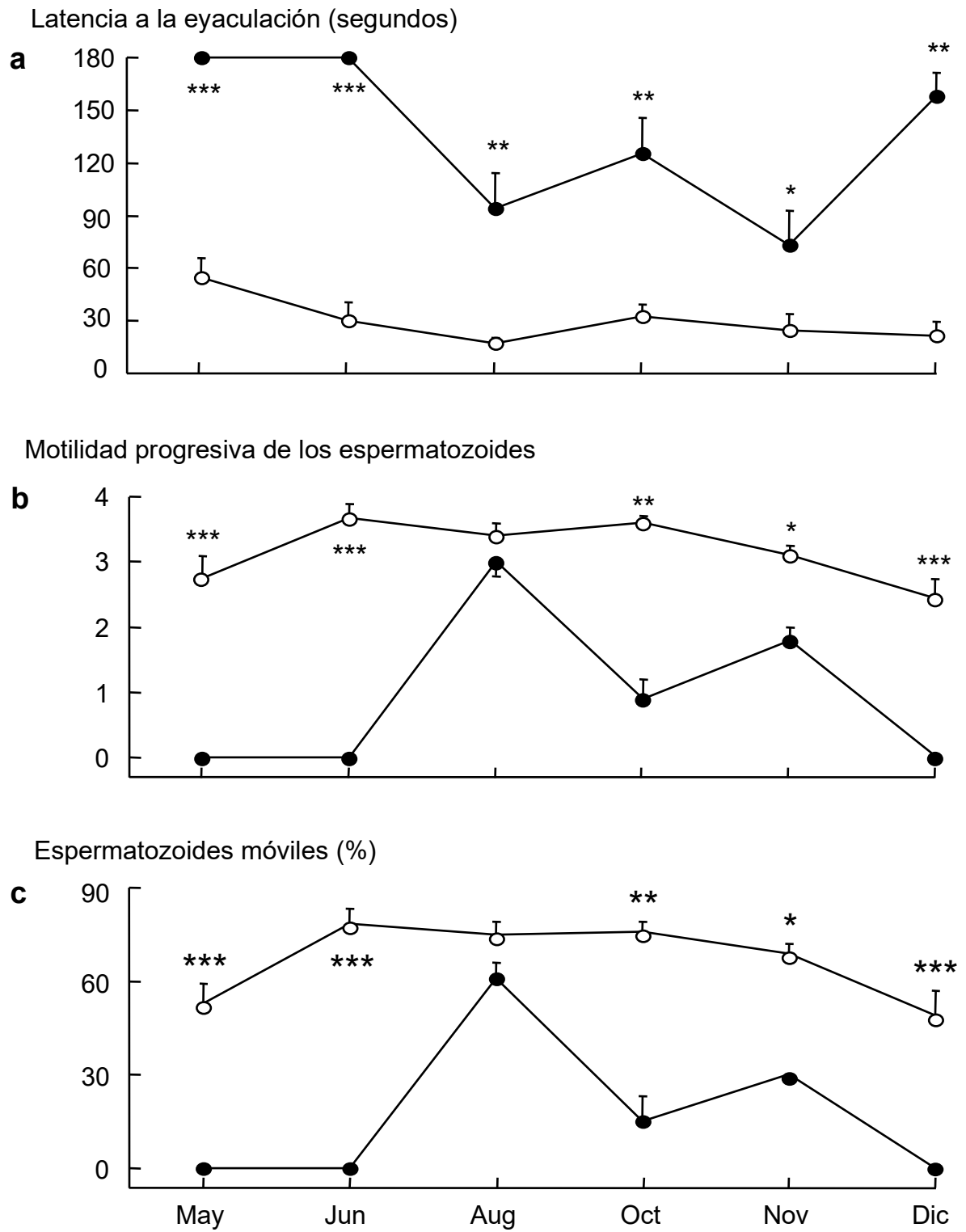


FIGURA 2. Latencia a la eyaculación (a), motilidad progresiva de los espermatozoides (b; promedio \pm error estándar del promedio) y porcentaje de espermatozoides móviles (c) de machos cabríos mantenidos en estabulación y alimentados diariamente con 2 kg de heno de alfalfa (○) o en condiciones semiextensivas y alimentados con la vegetación natural del agostadero (●).

*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual determinado por la latencia a la eyaculación, así como la calidad de los espermatozoides fueron inferiores en los machos experimentales, mantenidos en el sistema semiextensivo, que en los machos control bien alimentados mantenidos estabulados. Además, la estación sexual, determinada por las concentraciones plasmáticas de testosterona, inició antes y terminó después en los machos control que en los experimentales. Estos resultados confirman la hipótesis del estudio, e indican que las actividades endocrina y sexual de los machos cabríos se reducen profundamente cuando son mantenidos en un sistema de producción semiextensivo.

En el presente estudio, las concentraciones plasmáticas de testosterona aumentaron antes y disminuyeron después en los machos control que en los experimentales. Las diferencias entre los grupos se pueden explicar de la siguiente manera. En primer lugar, en machos cabríos y carneros, la desnutrición reduce las concentraciones plasmáticas de testosterona (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Martin y Walkden-Brown, 1995; Delgadillo *et al.*, 2020). En carneros desnutridos, esta concentración baja de testosterona se debe a la reducción drástica del tamaño de las células de Leydig (Hötzel *et al.*, 1998). En nuestro estudio, es probable que la desnutrición de los machos experimentales provocó una reducción del tamaño de las células de Leydig y, por tanto, bajas concentraciones plasmáticas de testosterona. En segundo lugar, en machos cabríos y carneros, la desnutrición aumenta la retroalimentación negativa de la testosterona sobre la secreción de LH

(Walkden-Brown *et al.*, 1994; Martin y Walkden-Brown, 1995). En nuestro estudio, es probable que la desnutrición a la que fueron sometidos los machos experimentales haya aumentado la retroalimentación negativa de la testosterona sobre la secreción de LH, retrasando el inicio y adelantando el final de la estación sexual (Walkden-Brown *et al.*, 1994; Delgadillo *et al.*, 2021). Finalmente, es interesante notar que, en marzo, las concentraciones plasmáticas de testosterona fueron mayores en los machos experimentales que en los control. En machos cabríos y carneros expuestos a hembras en celo se incrementan las concentraciones de testosterona, debido al “efecto hembra” (González *et al.*, 1988; Ramírez *et al.*, 2019). En el presente estudio, es probable que los machos hayan sido estimulados por hembras en celo al introducirlos en el hato caprino, lo que provocó un incremento en los niveles plasmáticos de testosterona. Estos hallazgos muestran que, en los machos mantenidos en un sistema de producción semiextensivo, las concentraciones plasmáticas de testosterona son más bajas que en los machos bien nutridos mantenidos en un sistema estabulado.

En los machos control, la latencia a la eyaculación fue generalmente inferior a la de los machos experimentales, lo que indica que éstos últimos desplegaron un comportamiento sexual inferior que los machos control. En este estudio, es probable que las bajas concentraciones de testosterona, hormona responsable del comportamiento sexual, hayan disminuido el comportamiento sexual de los machos experimentales, como se ha reportado en otros estudios (Walkden-Brown *et al.*, 1994, 1997; Delgadillo *et al.*, 2020, 2021). Un argumento complementario para explicar el bajo comportamiento sexual mostrado por los machos experimentales,

es su exposición directa a los rayos solares durante 8 horas, tal como describieron en carneros y cerdos (Lindsay, 1969; Flowers, 1997). Estos resultados indican que el comportamiento sexual de los machos, determinado por la latencia a la eyaculación, se reduce al mantenerlos en un sistema de producción semiextensivo.

En los machos control, la motilidad progresiva de los espermatozoides y el porcentaje de espermatozoides móviles fueron superiores que en los machos experimentales. Esta diferencia entre grupos podría explicarse de la siguiente manera. En nuestro estudio, los machos experimentales se mantuvieron en un sistema de producción semiextensivo, que se caracteriza por una disminución dramática de la vegetación natural de noviembre a mayo (Duarte *et al.*, 2008), lo que provoca una desnutrición de los machos (Delgadillo *et al.*, 2021). Es probable que esta desnutrición redujo la calidad espermática, al igual que en machos cabríos y carneros desnutridos, debido al aumento de la apoptosis de células germinales (Martin y Walkden-Brown, 1995; Guan *et al.*, 2014, 2015). Otra probabilidad es que en el presente estudio, la exposición de los machos a los rayos solares por 8 horas al día, produjo un estrés calórico (Barnabucci *et al.*, 2010), y consecuentemente, un daño al DNA de los espermatozoides (Kim *et al.*, 2012; Shahat *et al.*, 2020). Estos resultados indican que la calidad espermática se reduce drásticamente en machos mantenidos en un sistema de producción semiextensivo.

CONCLUSIÓN

Se concluye que en los machos cabríos mantenidos en el sistema de producción semiextensivo en la Comarca Lagunera, las concentraciones plasmáticas de testosterona, el comportamiento sexual determinado por la latencia a la eyaculación y la calidad de los espermatozoides son inferiores a las observadas en machos bien alimentados mantenidos en un sistema de producción estabulado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Esparza, J.D., Espinoza-Flores, L.A., Hernández, H., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A., 2018. Extensive management conditions do not modify the frequency of short ovulatory cycles in progesterone-treated does exposed to sexually active males. *Anim. Reprod. Sci.* 199, 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.10.004>.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., Nardone, A., 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 4, 1167-83. doi: 10.1017/S175173111000090X.
- Delgadillo, J.A., Canedo, G.A., Chemineau, P., Guillaume, D., Malraux, B., 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*. 52, 727-737. doi: 10.1016/S0093-691X(99)00166-1.
- Delgadillo, J. A., Leboeuf, B., Chemineau, P., 1991. Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*. 35, 755-770.
- Delgadillo, J., y Chemineau, P., 1992. Abolition of the seasonal release of luteinizing hormone and testosterone in Alpine male goats (*Capra hircus*) by short photoperiodic cycles. *J. Reprod. Fertil.*, 94: 45-55.
- Delgadillo, J.A., Carrillo, E., Morán, J., Duarte, G., Chemineau, P., & Malpoux, B., 2001. Induction of sexual activity of male creole goats in subtropical northern Mexico using long days and melatonin. *J. Anim. Sci.* 79, 2245-2252.
- Delgadillo, J.A., Cortez, M.E., Duarte, G., Chemineau, P., Malpoux, B., 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reprod. Nutr. Dev.* 44, 183-193. doi: 10.1051/rnd:2004024.
- Delgadillo, J.A., Martin, G.B., 2015. Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Anim. Frontiers*. 5, 57-65. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0009>.
- Delgadillo, J.A., Lemièrre, A., Flores, J.A., Bedos, B., Hernández, H., Vielma, J., Guerrero-Cervantes, M., Zarazaga, L.A., Keller, M., Chemineau, P., 2020. Undernutrition reduces the body weight and testicular size of bucks exposed to long days but not their ability to stimulate reproduction of seasonally anestrous goats. *Animal*. 14, 2562-2569. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001329>.
- Delgadillo, J.A., Sifuentes, P.I., Flores, M.J., Espinoza-Flores, L.A., Andrade-Esparza, J.D., Hernández, H., Keller, M., Chemineau, P., 2021. Nutritional supplementation improves the sexual response of bucks exposed to long days in semi-extensive management and their ability to stimulate reproduction in goats. *Animal*. 15, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100114>.

- Duarte, G., Flores, J.A., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2008. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domest. Anim. Endocrinol.* 35, 362-70. doi:10.1016/j.domaniend.2008.07.005.
- Flowers, W.L., 1997. Management of boars for efficient semen production. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 52, 67-78.
- Garnier, D.H., Cotta, Y., Terqui, M., 1978. Androgen radioimmunoassay in the ram: results of direct plasma testosterone and dehydroepiandrosterone measurement and physiological evaluation. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.* 18, 265-281.
- Giriboni, J., Lacuesta, L., Ungerfeld, R., 2017. Continuous contact with females in estrus throughout the year enhances testicular activity and improves seminal traits of male goats. *Theriogenology.* 1, 284-289. doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.09.004.
- González, R., Orgeur, P., Signoret, J.P., 1988. Luteinizing hormone, testosterone and cortisol responses in rams upon presentation of estrous females in the nonbreeding season. *Theriogenology.* 30, 1075-1086. Doi: 10.1016/0093-691x(88)90282-8.
- Guan, Y., Malecki, I.A., Hawken, P.A., Linden, M.D., Martin, G.B., 2014. Undernutrition reduces spermatogenic efficiency and sperm velocity, and increases sperm DNA damage in sexually mature male sheep. *Anim. Reprod. Sci.* 149, 163-72. doi: 10.1016/j.anireprosci.2014.07.014.
- Guan, Y., Liang, G., Hawken, P.A.R., Malecki, I.A., Cozens, G., Vercoe, P.E., Martin, G.B., Guan, L.L., 2015. Roles of small RNAs in the effects of nutrition on apoptosis and spermatogenesis in the adult testis. *Scientific Reports.* 5, 10372. doi: 10.1038/srep10372.
- Hötzel, M.J., Markey, C.M., Walkden-Brown, S. W., Blackberry, M.A., Martin, G.B., 1998. Morphometric and endocrine analyses of the effects of nutrition on the testis of mature Merino rams. *J. Reprod. Fertil.* 113, 217-230. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1130217>.
- Kim, K., Kim, S.H., Kim, J., Kim, H., Yim, J., 2012. Glutathione S-Transferase Omega 1 Activity Is Sufficient to Suppress Neurodegeneration in a Drosophila Model of Parkinson Disease. *J. Biol. Chem.* 287, 6628–6641. doi:10.1074/jbc.M111.291179.
- Lindsay D.R., 1969. Sexual activity and semen production of rams at high temperatures. *J. Reprod. Fertil.* 18, 1-8. doi: 10.1530/jrf.0.0180001.
- Martin, G.B., Walkden-Brown, S.W., 1995. Nutritional influences on reproduction in mature male sheep and goats. *J. Reprod. Fertil.* 49, 437-449.
- Meyerhoffer, D. C., Wettemann, R. P., Coleman, S. W., Wells, M. E., 1985. Reproductive Criteria of Beef Bulls during and after Exposure to Increased Ambient Temperature. *J. Anim. Sci.* 60, 352-357. <https://doi.org/10.2527/jas1985.602352x>
- Ramírez, S., Chesneau, D., Grimaldo-Viesca, E., Vielma, J., Hernández, H., Santiago-Moreno, J., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A., 2019. Continuous presence of females in estrus does not prevent seasonal inhibition of LH and androgen concentrations in bucks. *Domest. Anim. Endocrinol.* 69, 68-74. doi: 10.1016/j.domaniend.2019.04.006.

- Shahat, A.M., Rizzoto, G., Kastelic, J.P., 2020. Amelioration of heat stress-induced damage to testes and sperm quality. *Theriogenology*. 158, 84-96. doi: 10.1016/j.theriogenology.2020.08.034.
- Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Norton, B.W., Scaramuzzi, R.J., Martin, G.B., 1994a. Effect of nutrition on seasonal patterns of LH, FSH and testosterone concentration, testicular mass, sebaceous gland volume and odour in Australian cashmere goats. *J. Reprod. Fertil.* 102, 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 Rumin. Res.* 26, 239-52. doi:10.1016/S0921-4488(97)00017-5.