

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



Efecto de la suplementación con nutraceuticos sobre los parámetros
cinemáticos del espermatozoide equino

Por:

Erik Iván Esquivel Gaytán

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

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

Efecto de la suplementación con nutraceuticos sobre los parámetros
cinemáticos del espermatozoide equino

Por:

Erik Iván Esquivel Gaytán

TESIS

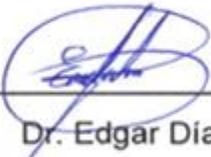
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Oscar Ángel García
Presidente



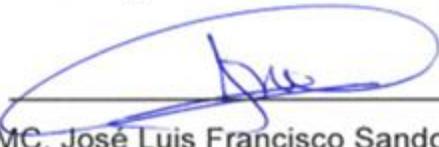
Dr. Edgar Díaz Rojas
Vocal externo

T. A-11-2

Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Vocal



Dr. Alan Sebastián Alvarado Espino
Vocal Suplente



MC. José Luis Francisco Sandoval Elías

Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

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

Efecto de la suplementación con nutraceuticos sobre los parámetros
cinemáticos del espermatozoide equino

Por:

Erik Iván Esquivel Gaytán

TESIS

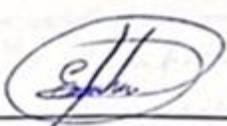
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Oscar Angel Garcia
Asesor Principal



Dr. Edgar Díaz Rojas
Coasesor externo

F. A. 11-2

Dr. Fernando Arellano Rodriguez
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Elias
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento en primer lugar al Dr. Edgar Diaz Riojas mi amigo y asesor, por su orientación experta y valioso consejo a lo largo de este proceso. Su dedicación y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

A las amistades que hice en mi recorrido académico, Ignacio Zacarías, Jesús Rendón, Pablo Barrera y David Cazares, susano castillo, Omar Gutiérrez, Halema Ahmed, Isaac Reséndiz, Sara Morales y Zared Zamorano quienes durante toda la carrera me mostraron apoyo y consejo además de su sincera amistad.

A mi familia por su amor incondicional, apoyo constante y creer en mi en todo momento.

DEDICATORIAS

A la memoria de mi abuela Ramona Pérez Alcalá y tío Marco Antonio Esquivel Limones, quienes ya no se encuentran físicamente con nosotros, pero cuyo amor y sabiduría aún hoy en día continúan apoyándome.

A mis amados padres, Elizabeth Gaytan y Manuel Esquivel, que con incansable dedicación y amor incondicional fue fuente de motivación y fortaleza a lo largo de este arduo camino académico, los cuales con su apoyo y sacrificios han hecho posible este logro, y por ello les estaré eternamente agradecido.

A Laura Ibarra, mi pareja y mayor apoyo. Tu amor, paciencia y constante ánimo han sido mi fuerza a lo largo de esta última etapa de mi viaje académico. Gracias por creer en mí, celebrar mis éxitos y por sostenerme en los momentos más difíciles. Tu ejemplo y presencia han iluminado mi camino y hecho que cada paso sea más significativo.

A mis queridos hermanos, Manuel Esquivel y Wendolyne Esquivel, compañeros de vida, los cuales con su cariño a pesar de las diferencias que llegáramos a tener siempre serán un apoyo y motivadores constante de aquello que quiero llegar a ser y a quienes no debo defraudar por la fe que tienen en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
Lista de figuras	v
Lista de Abreviaturas.....	vi
RESUMEN	vii
I.-INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis.....	2
1.2 Objetivo	2
II.-REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Endocrinología del semental	3
2.1.1 Eje Hipotálamo-Hipófisis-Testicular	3
2.2 Espermatogénesis.....	5
2.2.1 Fases de la espermatogénesis.....	5
2.2.2 Fase de proliferación.....	5
2.2.3 Fase meiótica.....	5
2.2.4 Fase de diferenciación.....	6
2.3 Anatomía del espermatozoide.....	7
2.4 Factores que influyen en la motilidad espermática.....	8
2.4.1 Medio ambiente.....	8
2.4.2 Edad.....	8
2.4.3 Nutricionales	8
2.5 Función de los nutraceuticos sobre los parámetros cinemáticos de los espermatozoides en sementales.....	9
2.5.1 Extractos botánicos.....	9
2.5.2 Antioxidantes y vitaminas	10
2.5.3 L-carnitina.....	10
2.5.4 PUFA's	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Localización y manejo de los sementales.....	11
3.2 Diseño experimental	11

3.3 Recolección de semen.....	11
3.4 Análisis estadístico	12
IV RESULTADOS.....	13
V DISCUSIÓN	14
VI CONCLUSIÓN.....	16
VII LITERATURA CITADA.....	17

Lista de figuras

Figura 1. Retroalimentación de la producción hormonal. VNO, Órgano Vomeronasal; T, Testosterona; E, Estrógenos; I, Inhibina; A, Activina. GnRh, Hormona Liberadora de Gonadotrofinas; LH, Hormona Luteinizante; Hormona PRL, Prolactina; FSH, Hormona foliculoestimulante. Tomado de (Bustos y Torres, 2012).	4
Figura 2. Fases de la espermatogénesis: espermacitogénesis, espermatidogénesis, Espermiogénesis, espermiación (Reyes -Luna, 2019).	6
Figura 3. Diagramas de un espermatozoide del semental modificado (Samper, 2009).	7

Lista de Abreviaturas

CASA	Análisis de Semen asistido por Computadora
PUFAs	Ácidos grasos poliinsaturados
ROS	Especies Reactivas de Oxígeno
GnRH	Hormona liberadora de Gonadotropina
LH	Hormona Luteinizante
FSH	Hormona Foliculoestimulante
IA	Inseminación Artificial

RESUMEN

Debido al papel indispensable que los caballos han tenido desde su domesticación en las actividades en las que acompañaron al hombre, aunado con la complejidad para optar por un garañón. Se han optado por el uso de las biotecnologías para que en los casos de sementales subfértiles se logre mejorar la fertilidad. Teniendo como objetivo del estudio analizar el efecto de la suplementación con un nutraceutico para mejorar motilidad espermática en sementales Cuarto de Milla. Durante 4 meses se evaluó el semen de caballos de la raza cuarto de milla mediante el sistema de análisis por computadora (CASA). Se evaluaron durante 60 días antes de la suplementación, posteriormente a esos mismos sementales se les volvieron a evaluar durante 60 días con la suplementación del nutraceutico (30 g/día). Los parámetros cinemáticos espermáticos fueron significativamente mayores, la motilidad total (MT) (92.3 ± 2.5) (%) respecto al control (79.2 ± 4.8), motilidad progresiva (MP) (68.8 ± 5.3) respecto al control (38.1 ± 6.5), velocidad rectilínea (VSL) ($92.8 \pm 2.1 \mu\text{m/s}$) respecto al control ($67.4 \pm 4.8 \mu\text{m/s}$), velocidad de trayectoria (VAP) (90.1 ± 2.1) respecto al control ($58.5 \pm 4.0 \mu\text{m/s}$) y velocidad curvilínea (VCL) ($180.6 \pm 6.7 \mu\text{m/s}$) respecto al control ($116.6 \pm 10.8 \mu\text{m/s}$), fueron significativamente mejor con la suplementación ($P < 0.05$). Con base a los resultados, se concluye que la suplementación con nutraceutico mejoro los parámetros cinemáticos en los sementales Cuarto de Milla.

Palabras clave: Sementales, Nutraceutico, Motilidad espermática, Cuarto de milla

I.-INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la domesticación del caballo este ha tenido un papel indispensable en el desarrollo de diversas actividades junto al hombre (Librado et al., 2021) El aumento en el número de ejemplares en el país ha provocado que se desarrolle por parte de los médicos, nuevas técnicas que propicien la mejoría de la producción de esta especie, mediante la implementación de diferentes biotecnologías tras poladas desde otras especies en los últimos años (Losinno L., 2002; Aurich, 2008).

La producción equina es muy compleja debido a que, para poder optar por un reproductor, estos deben tener características ideales las cuales están vinculadas con las variaciones genéticas y fenotípicas entre otras de sus cualidades (Andrade, 2011).

Estudios han demostrado que los equinos exhiben una reproducción estacional la cual es mediada por la duración de horas luz durante el día, debido a esto algunos criadores de caballos deportivos saben que este proceso puede llegar a ser negativo cuando las crías nacen en verano (Alvarenga et al., 2016; Houssou et al., 2020).

Debido a esto y mediante la implementación de biotecnologías se ha logrado que la reproducción inicie antes de la temporada de reproducción fisiológica normal, esto mediante el uso de IA principalmente (Battut et al., 2017; Cortés-Vidauri et al., 2018).

Sin embargo, los sementales a diferencia de las yeguas siguen manteniendo la fertilidad durante todo el año, aunque lleguen a presentar algunas variaciones en los parámetros seminales (Crespo et al., 2020).

Para esto existe en el mercado una serie de sustancias naturales las cuales ayudan a optimizar el uso de nutrientes, siendo principalmente los antioxidantes los cuales pueden ayudar a incrementar la fertilidad al disminuir el daño causado por ROS (de Albuquerque et al., 2020).

1.1 Hipótesis

La suplementación con nutraceutico ayudará a mejorar los parámetros cinemáticos del espermatozoide equino.

1.2 Objetivo

Determinar el efecto de la suplementación con nutraceutico sobre los parámetros cinemáticos del espermatozoide equino.

II.-REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Endocrinología del garañón

Como fue mencionado en anterioridad el equino cuenta con un mecanismo de adaptación para asegurar la supervivencia de la descendencia, al minimizar el impacto del medio ambiente principalmente el abasto de alimento al nacimiento (Young y Nelson, 2001).

Algunos parámetros como la producción de hormonas, el tamaño y el volumen testicular, así como la libido, son características que pueden variar de acuerdo a la raza y al semental (Boeta et al., 2018).

El efecto del fotoperiodo en algunas ocasiones se puede vincular o asociar con los efectos que tiene la nutrición (Boeta et al., 2018).

2.1.1 Eje Hipotálamo-Hipófisis-Testicular

se ha reportado que los estímulos auditivos, olfatorios y visuales activan el sistema nervioso central teniendo como órgano diana al hipotálamo, una vez se recibe la señal a partir de la glándula pineal, esta se encarga de mediante la secreción pulsátil de GnRH la cual desde la adenohipófisis activará la secreción de FSH y LH, hormonas sexuales las cuales iniciarán una serie de retroalimentación de señales dentro del cuerpo como se muestra en la figura 1 (Bustos y Torres, 2012).

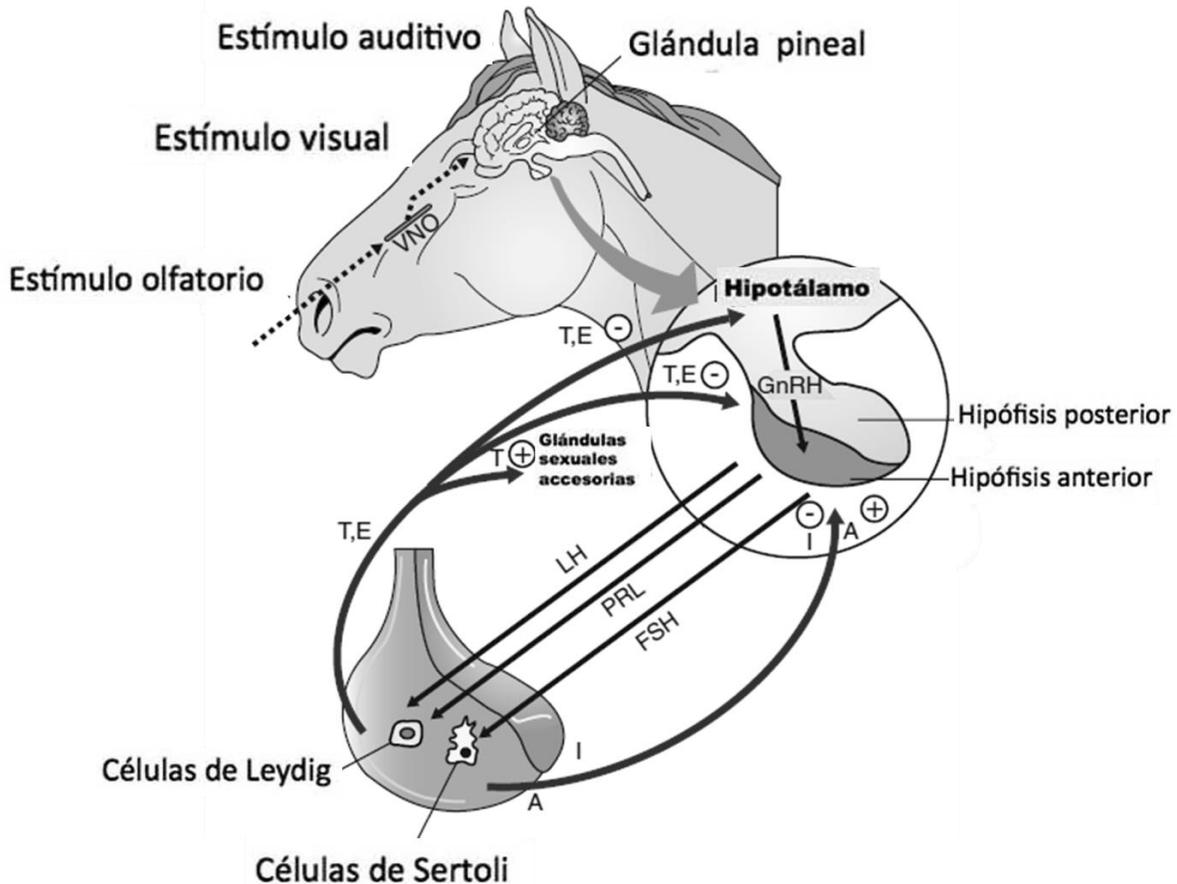


Figura 1. Retroalimentación de la producción hormonal. VNO, Órgano Vomeronasal; T, Testosterona; E, Estrógenos; I, Inhibina; A, Activina. GnRH, Hormona Liberadora de Gonadotropinas; LH, Hormona Luteinizante; Hormona PRL, Prolactina; FSH, Hormona foliculoestimulante. Tomado de (Bustos y Torres, 2012).

En los sementales equinos, la espermatogénesis es llevada a cabo mediante las señales del eje hipotálamo-hipófisis-testículo, esto comprende la función de las gonadotropinas y el mecanismo de retroalimentación de los esteroides (Dascanio y McCue, 2014).

En las espermatogénesis las principales hormonas que participan son; GnRH, LH, FSH y la testosterona, las cuales participan de una manera muy importante en el proceso antes mencionado, debido a que son las encargadas de mantener en funcionamiento la espermatogénesis en los testículos de animales adultos (Blanc, 2003; Brinsko et al., 2011; Galiana y Valencia, 2012).

2.2 Proceso de Espermatogénesis

Es considerado así al evento transcurrido desde la proliferación, maduración y diferenciación en el cual las células espermatogonias maduran en espermatozoides, el cual es llevado a cabo en los túbulos seminíferos del parénquima testicular (Carleton, 2011).

Los túbulos seminíferos los cuales se originan a partir de células mioides las cuales rodean a la lámina basal, y a las células somáticas y germinales. Cada espermatozoide esta incrustado por las células de Sertoli las cuales se mantienen comunicadas mayormente de células germinales en distintas fases de desarrollo (Dascanio y McCue, 2014).

2.2.1 Fases de la espermatogénesis

Hay tres fases en la espermatogénesis, las cuales se llevan a cabo de 19.4 y 18.6 días, con una duración total de 55 a 58 días (Samper, 2009).

2.2.2 Fase de proliferación

Dentro de la fase proliferativa las células conocidas como los gonocitos germinales se diferencian a espermatogonias. Durante esta fase las espermatogonias llevan a cabo una serie de divisiones mitóticas (espermatogonias tipo A) y de la misma forma producir espermatogonias llevada a cabo en 19.5 días aproximadamente (Galiana y Valencia, 2012).

2.2.3 Fase meiótica

La segunda fase corresponde al inicio de las divisiones meióticas, durante la primera división se forman dos espermatocitos secundarios a partir del espermatocito primario diploide los cuales durante la segunda división meiótica se transformarán en espermátidas como se muestra en la figura 2 (Hafez y Hafez, 2002).

2.2.4 Fase de diferenciación

Durante este proceso, la espermátida atraviesa ciertos cambios hasta lograr distinguir la cabeza y la cola (Samper, 2008), estas modificaciones se originan a partir de que las células espermáticas las que entran en contacto con las células de Sertoli, cuyo proceso tiene una duración de 18.6 días (Hafez y Hafez, 2002; Galiana y Valencia, 2012) (Figura2).

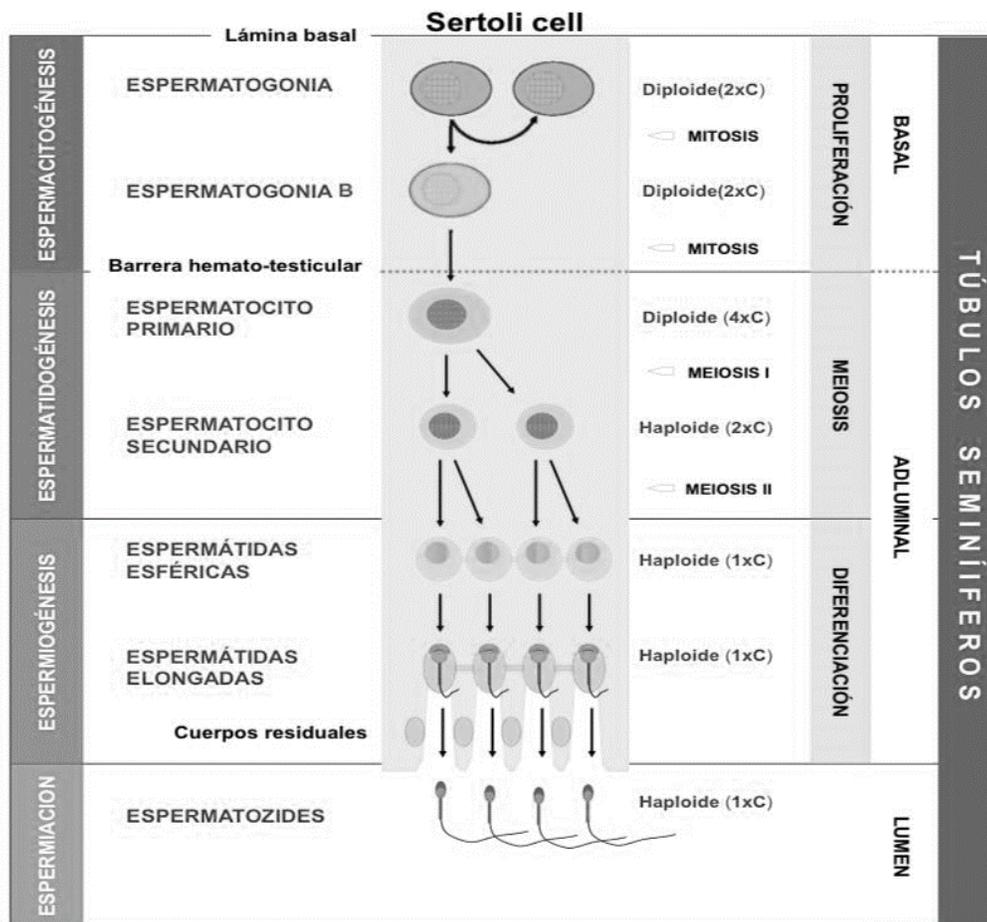


Figura 2. Fases de la espermatogénesis: espermacitogénesis, espermatidogénesis, espermiogénesis, espermiación (Reyes -Luna, 2019).

2.3 Anatomía del espermatozoide

En los mamíferos, el espermatozoide se forma por 5 regiones las cuales son: cabeza, cuello, pieza intermedia; pieza principal y pieza terminal, teniendo un núcleo condensado, una membrana sensible a cambios térmicos, osmóticos y las mitocondrias (Boeta et al., 2018).

La cabeza espermática consiste en un núcleo, acrosoma, citoesqueleto y un citoplasma. La parte del cuello consiste en la fusión de la cabeza, originada por el capitulum, la mitocondria y el centriolo. El flagelo apoya realizando el movimiento y es constituido por: una parte intermedia, una principal y la terminal. Todos conformados por el axonema el cual es la estructura encargada de realizar el movimiento (Vélez, 2016; Rodríguez Nuñez, 2018).

En algunos estudios la integridad de la membrana se evalúa como un factor que ayude a estimar la vitalidad espermática (Lozano et al., 2011; Betancur et al., 2013) (figura 3).

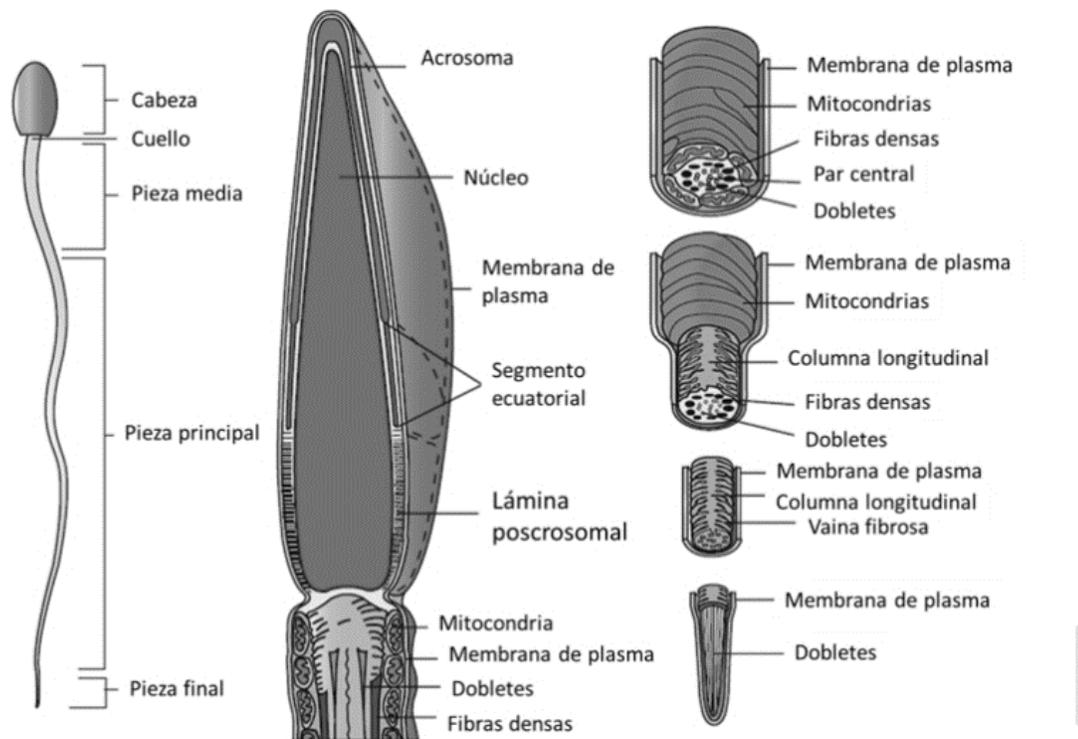


Figura 3. Diagramas de un espermatozoide del semental modificado (Samper, 2009).

2.4 Factores que influyen en la motilidad espermática

2.4.1 Medio ambiente

El proceso de regulación de temperatura en el testículo algunas ocasiones afecta la calidad del esperma por el estrés del calor, ocasionando así una modificación directa la cual influye principalmente en el proceso de la capacitación del esperma. Esto debido a que la temperatura adecuada que debe tener el testículo para permitirle lograr una capacitación espermática adecuada debe ser de aproximadamente entre los 15.5°C (Crespo et al., 2020).

2.4.2 Edad

Cuando se menciona que la edad es un factor se refiere a la etapa de madurez sexual, esto debido a las variaciones fisiológicas en se ven el funcionamiento que tienen los túbulos seminíferos (Chenier et al., 2007)

Un equino logra el desarrollo testicular a los 6 años, coincidiendo a una etapa de estabilización de producción espermática. En este sentido, los sementales mientras menor edad tengan estos presentaran una menor formación de espermatozoides respecto a los sementales adultos. A pesar de esto, los garañones adultos tienen una predisposición a desarrollar una formación mayor de anomalías morfológicas del esperma (Plas et al., 2000).

2.4.3 Factores nutricionales

Diferentes investigaciones han demostrado que un peso superior e inferior del valor saludable propicia el riesgo de infertilidad, de igual forma la deficiencia de antioxidantes afecta la calidad seminal (Díaz-Rojas et al., 2023), asimismo la cantidad elevada de Leptina nos indican un desbalance en el tejido adiposo, lo cual nos provoca un incremento en la función del eje hipotálamo-hipófisis-testicular, por lo cual ocasiona una baja producción de testosterona en las células de Leydig y en consecuencia incrementa la concentración de estrógenos (Lozano, 2009).

2.5 Función de los nutraceuticos en los parámetros cinemáticos del esperma

Se ha demostrado que los órganos reproductores pueden presentar trastornos afectando la fertilidad del semental (Freitas y De Oliveira, 2017).

Los suplementos nutricionales han sido muy utilizados con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo y en años recientes el reproductivo de los caballos (Bazzano et al., 2021), además se ha descrito que la suplementación con base en antioxidantes ayuda con el aumento de la capacidad de los espermatozoides (Contri et al., 2011).

Las primeras células en las cuales se demostró que se presenta el estrés oxidativo fueron los espermatozoides (Aitken y Baker, 2004).

El Dr. Stephen Defelice acuñó el término nutraceutico a partir de nutrición y farmacéutico en 1989, como aquella sustancia administrada por vía oral con el objetivo de incrementar la salud y bienestar de los pacientes (Kalra, 2003).

La suplementación con nutraceuticos que contengan ácidos grasos y antioxidantes incrementan la capacidad de reacción a las ROS (Freitas et al., 2016).

2.5.1 Extractos botánicos

Las funciones se definen en base a las propiedades fisicoquímicas de la molécula. Habiendo dos tipos de carotenoides, los carotenos que poseen oxígeno en sus anillos terminales y aquellos que si lo tienen se nombran xantofilas (Kumar et al., 2018).

Se observó que la maca (*Lepidium meyenii*) posee en efecto beneficioso a la reproducción femenina y las funciones sexuales de sementales (Del Prete et al., 2017).

2.5.2 Antioxidantes y vitaminas

Sus mecanismos de acción son; enzimáticos, no enzimáticos y terciarios (Córdova et al., 2009).

En el semen existen tres tipos de defensa por parte de los antioxidantes:

Preventiva la cual consiste en evitar que existan niveles superiores de ROS en el organismo (Saraswat et al., 2014).

La restaurativa en la cual se eliminan las moléculas que fueron dañadas por medio de la acción de enzimas como la catalasa, glutatión reductasa y la peroxidasa entre otros compuestos (Saraswat et al., 2014).

y finalmente mediante la regulación de los procesos metabólicos y regeneración celular mediada por la acción de las vitaminas las cuales funcionan como coenzimas y percursores de las coenzimas (Vallejo-Zamudio et al., 2017).

2.5.3 L-carnitina

A la L-carnitina se le han atribuido dos funciones principales; el apoyo en la entrada de ácidos grasos libres de cadena larga hacia las mitocondrias y la facilitación de eliminar los ácidos de cadena pequeña y mediana resultando del metabolismo que se lleva a cabo en las mitocondrias ya sea normal o anormal (de Alburquerque et al., 2020).

2.5.4 PUFA's

Estos son los responsables de diversas funciones como la señalización, el mantenimiento estructural y la fluidez de la membrana celular regulando a su vez al sistema nervioso, presión arterial, coagulación sanguínea y los procesos antiinflamatorios (Sankaranarayanan, 2019).

Diferentes estudios han demostrado el aumento de la calidad seminal con la adición de algunos ácidos grasos en la alimentación de los sementales (Aurich et al. 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y manejo de los sementales

El experimento se realizó durante los meses de mayo, junio, julio y agosto del 2022 en la Comarca Lagunera México, localizada a una latitud 26° 23´N y una longitud de 104° 47´ O. Se evaluaron seis sementales de la raza Cuarto de Milla con una edad promedio de 9 años y una condición corporal de 5 (escala 1-9) de acuerdo con la clasificación de Carroll y Huntington (1988).

3.2 Diseño experimental

La alimentación de los seis sementales fue de heno alfalfa y concentrado. El agua se ofreció a libre acceso, durante 2 meses. El semen se recolecto cada 20 días durante estos 2 meses. Posteriormente los 6 sementales fueron suplementados con el nutraceutico mezclado con el concentrado, añadiendo 30 g/día del nutraceutico (β -carotenos, Luteína, Licopeno, Caseína, Selenio, Ácido docosahexaenoico (DHA, omega-3), L-carnitina, Vitamina A, Vitamina C, Vitamina E) Stallion Force del laboratorio (GNX HORSE), durante 15 días. A partir del día 16 se extrajo semen cada 20 días durante 2 meses. Para la recolección de semen se utilizó una vagina artificial (VA), tipo Botucatu, las variables que se evaluaron fueron el:

3.3 Recolección seminal

Se lavará el pene y glande del garañón con agua tibia, para retirar el que se encuentre en el prepucio. Se secura con toallas el agua del pene para no dejar restos al momento de hacer la extracción, así mismo también se le vendo la cola a la yegua para evitar el riesgo de producirle laceraciones al pene.

Al momento que el semental monte a la yegua, y antes de la penetración se desvía el pene hacia la VA, la cual se retira al momento de que el caballo eyacule, procurando que este en posición casi vertical, para evitar perdida de semen.

Los parametros cinematicos de los espermatozoides se determinarán con el sistema CASA (Computer Asisted Sperm Analysis System), en base a los espermatozoides móviles totales (MT %), la motilidad progresiva (MP %), velocidad

rectilínea (VSL $\mu\text{m/s}$), velocidad de trayectoria (VAP $\mu\text{m/s}$) y velocidad curvilínea (VCL $\mu\text{m/s}$).

3.4 Análisis estadístico

Todas las variables fueron analizadas utilizando el programa SAS (OnDemand for Academics Dashboard). Se llevó a cabo un análisis con T Student con valores de significancia de ($P < 0.05$).

IV RESULTADOS

En el presente estudio los parámetros cinemáticos, espermatozoides móviles totales (MT %), motilidad progresiva (MP %), velocidad rectilínea (VSL $\mu\text{m/s}$), velocidad de trayectoria (VAP $\mu\text{m/s}$) y velocidad curvilínea (VCL $\mu\text{m/s}$) de los seminales mejoraron ($P < 0,05$) con suplementación en comparación con la ausencia de suplementación con nutraceutico respectivamente (Tabla 1).

Variable	Control	Nutraceutico
MT (%)	79.2 \pm 4.8 ^b	92.3 \pm 2.5 ^a
MP (%)	38.1 \pm 6.5 ^b	68.8 \pm 5.3 ^a
VSL ($\mu\text{m/s}$)	67.4 \pm 4.8 ^b	92.8 \pm 2.1 ^a
VAP ($\mu\text{m/s}$)	58.5 \pm 4.0 ^b	90.1 \pm 2.1 ^a
VCL ($\mu\text{m/s}$)	116.6 \pm 10.8 ^b	180.6 \pm 6.7 ^a

Abreviaciones: espermatozoides móviles totales (MT %), motilidad progresiva (MP %), velocidad rectilínea (VSL $\mu\text{m/s}$), velocidad de trayectoria (VAP $\mu\text{m/s}$) y velocidad curvilínea (VCL $\mu\text{m/s}$). Superíndices desiguales (a, b) indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

V DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron durante el presente estudio demuestran la importancia de llevar a cabo una suplementación con nutraceutico en la producción y función de los espermatozoides en los sementales. La correcta ingesta de nutrientes, siendo en mayor medida los antioxidantes son fundamentales para el desempeño reproductivo (Bazzano et al., 2021). Respecto a los parámetros cinemáticos, estos reflejan la capacidad del espermatozoide de viajar a través del sistema reproductivo de la yegua hasta llegar a la fertilización (Alvarenga et al., 2016). Se identificó un incremento ($p < 0.5$) luego de la suplementación con nutraceutico, lo cual concuerda con lo que reportado por Usuga et al., (2017) en sementales colombianos, en sementales Cuarto de Milla (Nery et al., 2020), Dare-Shuri (Bahrami et al., 2020) y árabes (El Sisy et al., 2016), esto pudiendo ser atribuido a los antioxidantes los cuales proveen de energía a los espermatozoides al aumentar el transporte de los ácidos grasos hacia la matriz mitocondrial (Mongioi et al., 2016). Algunos investigadores han sugerido que periodos largos de hipoxia intratesticular podrían ser parte de la etiología ciertas fallas en los espermatozoides (Sharma et al., 2021). Esto puede ser debido a que algunos antioxidantes en altas concentraciones en el epidídimo proporcionan energía a los espermatozoides al ayudar a la β -oxidación mitocondrial y aumentar la concentración espermática principalmente (Mongioi et al., 2016). A pesar de eso, en otros estudios los parámetros cinemáticos no se vieron aumentados después de la suplementación con nutraceutica (Alamaary et al., 2019; Ravi et al., 2016; Brinsko et al., 2005). En una investigación realizada en sementales Mangalarga Marchador, se informó que no existió diferencia estadística en la velocidad rectilínea (Rodrigues et al., 2017). Cabe mencionar que esto pudo deberse a que los antioxidantes exógenos funcionan como donadores de electrones, evitando una cadena óxido-reducción sacrificando su propia integridad molecular, a través de tres niveles de protección: Prevención: consiste en la formación de ROS por encima de los niveles normales del organismo. Intercepción: interrumpir la reacción en cadena, atrapar las ROS y reducirlas formando productos finales no radicales. Reparación: eliminación de biomoléculas que han sido dañadas por los radicales libres (Saraswat et al., 2014).

Siendo así, los micronutrientes esenciales tales como la vitamina E, el selenio (Se), la vitamina A, la vitamina C, el zinc, el cobre, el hierro, el manganeso y la caseína intervienen en las defensas antioxidantes en el organismo, protegiendo a las células del estrés oxidativo, siendo la peroxidación lipídica la cual altera la función y estructura de la membrana espermática (Campos et al., 2020).

VI CONCLUSIÓN

En conclusión, los parámetros cinemáticos del semen mejoraron significativamente en los sementales después de la suplementación con el nutraceutico. Sin embargo, es necesario realizar más experimentos para poder evaluar el efecto de estos sobre procesos de criopreservación seminal.

VII LITERATURA CITADA

- Aitken, R. J., y Baker, M. A. 2004. Oxidative stress and male reproductive biology. *Reproduction, Fertility and Development*, 16(1), 31–38. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.122203>
- Alamaary, M. S., Haron, A. W., Ali, M., Hiew, M. W. H., Adamu, L., y Peter, I. D. 2019. Effects of four extenders on the quality of frozen semen in Arabian stallions. *Veterinary World*, 12(1), 34–40. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.34-40>
- Alvarenga M. A., Papa F. O., Ramires Neto C. 2016. Advances in Stallion Semen Cryopreservation. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice*, 32(3), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2016.08.003>
- Andrade, F., Frederico, I., Pérez, J., Chacón, L., & Arias Serrato, S. (2011). Algunos aspectos de la eficiencia reproductiva correlacionados con el semental equino. *Revista Ciencia Animal*, 1(4), 83-88.
- Aurich, C. 2008. Recent advances in cooled-semen technology. *Animal Reproduction Science*, 107(3–4), 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.04.015>
- Aurich, J., Kuhl, J., Tichy, A., y Aurich, C. 2020. Efficiency of Semen Cryopreservation in Stallions. *Animals Article*, 10(3), 1–13. <https://doi.org/doi:10.3390/ani10061033>
- Bahrami, A., Divar, M.R., Azari, M., Kafi, M. (2020). Nicotinic Acid (Niacin) Supplementation in Cooling and Freezing Extenders Enhances Stallion Semen Characteristics. *Journal of Equine Veterinary Science*. 94:103236. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103236>
- Battut, I. B., Kempfer, A., Lemasson, N., Chevrier, L., y Camugli, S. 2017. Prediction of the fertility of stallion frozen-thawed semen using a combination of computer-assisted motility analysis, microscopical observation and flow cytometry. *Theriogenology*, 97, 186–200. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.036>
- Bazzano, M., Laus, F., Spaterna, A., y Marchegiani, A. 2021. Use of nutraceuticals in the stallion: Effects on semen quality and preservation. *Reproduction in Domestic Animals*, 56(7), 951–957. <https://doi.org/10.1111/rda.13934>

- Betancur; Giovanni Restrepo; Jaime Isaza Cadavid. (2013). Técnicas para el análisis de la fertilidad potencial del semen equino. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 69-81.
- Boeta, M. S., Balcazár, A., Cerbón, J. L., Hernandez Medrano, J. H., Hernandez Cerón, J., & Páramo Ramírez, R. M. (2018). *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos (Vol. 1a)*. Ciudad de México.
- Bustos, E. B., y Torres-Díaz, L. 2012. Seasonal reproduction in the male. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1266–1279. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022012000400004>
- Blanc, M. L. (2003). *Equine Stud Farm Medicin and Surgerye*. London: El servier science.
- Brinsko, S. P., Blanchard, T. L., Varner, D. D., Schumacher, J., Love, C. C., Hinrichs, K., & Hartman, D. (2011). *Manual of Equine Reproduction*. St. Louis, Missouri, USA: Elsevier 3a edition.
- Brinsko, S.P., Varner, D.D., Love, C.C., Blanchard, T.L., Day, B.C., Wilson, M.E. (2005). Effect of feeding a DHA-enriched nutraceutical on the quality of fresh, cooled, and frozen stallion semen. *Theriogenology*. 63(5): 1519-1527. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.07.010>
- Campos, G. A., Garcia, V. F. C., Freitas-Dell'Aqua, C. P., Segabinazzi, L. G. T. M., Maciel, L. F. S., Alvarenga, M. A., Dell'Aqua, J. A. 2020. Sodium Caseinate and Cholesterol Improve Bad Cooler Stallion Fertility. *Journal of Equine Veterinary Science*, 93, 103–201. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103201>
- Carleton, C. L. (Ed.). (2011). *Blackwell's Five-Minute Veterinary Consult Clinical Companion: Equine Theriogenology*. John Wiley & Sons.
- Carroll, C.L., and Huntington, P.J. (1988). Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine Veterinary Journal*. 20(1): 41-45. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1988.tb01451.x>
- Contri, A., De Amicis, I., Molinari, A., Faustini, M., Gramenzi, A., Robbe, D., y Carluccio, A. 2011. Effect of dietary antioxidant supplementation on

fresh semen quality in stallion. *Theriogenology*, 75(7), 1319–1326.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.12.003>

Chenier T.S., Estrada A.T., & Koenig J.B. (2007). Theriogenology question of the month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 1469-1472.

Córdova-Izquierdo, A., Lang, C. G. R., Jiménez, C. A. C., y Salinas, K. A. 2009. Estrés oxidativo y antioxidantes en la conservación espermática. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/277274951_Estres_oxidativo_y_antioxidantes_en_la_conservacion_espermatICA

Cortés-Vidauri, Z., Aréchiga-Flores, C., Rincón-Delgado, M., Rochín-Berumen, F., López-Carlos, M., & Flores-Flores, G. (2018). Revisión: El Ciclo reproductivo de la yegua. *Abanico veterinario*, 8(3), 14-41.

Crespo F., Wilson R., Díaz-Jiménez M., Consuegra C., Dorado J., García B., . . . Johnston S. (2020). "Effect of Season on Individual Stallion Semen Characteristics." *Animal Reproduction Science*, 223.

Dascanio, J., & McCue, P. (2014). *Equine reproductive procedures*. Garshintong Road: Wiley Blackwell.

de Albuquerque Lagares, M., Silva, G. C. da, Cortes, S. F., Luz, S. B., de Resende, A. C., Alves, N. de C., Stahlberg, R. 2020. Does Coenzyme Q10 Exert Antioxidant Effect on Frozen Equine Sperm. *Journal of Equine Veterinary Science*. 88, 102964.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.102964>

Del Prete, C., Tafuri, S., Ciani, F., Pasolini, M.P., Ciotola, F., Albarella, S., Carotenuto, D., Peretti, V., Cocchia, N. (2018). Influences of dietary supplementation with *Lepidium meyenii* (Maca) on stallion sperm production and on preservation of sperm quality during storage at 5 °C. *Andrology*. 6(2): 351-361. <https://doi.org/10.1111/andr.12463>

Díaz Rojas, E., Carrillo Moreno, D. I., Contreras Villarreal, V., Arellano Rodríguez, F., Alvarado Espino, A. S., & Ángel García, O. (2023). Effect of nutraceutical supplementation on semen quality in stallions. *Veterinary Medicine and Science*, 9(6), 2600-2605.

- El Sisy, G.A., Abo El-Maaty, A.M., Rawash, Z.M. (2016). Comparative blood and seminal plasma oxidant/antioxidant status of Arab stallions with different ages and their relation to semen quality. *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 5(5): 428-433. <https://doi.org/10.1016/j.apjr.2016.07.006>
- Freitas, M. L., Bouéres, C. S., Pignataro, T. A., Gonçalves de Oliveira, F. J., de Oliveira Viu, M. A., y Oliveira, R. A. 2016. Quality of Fresh, Cooled, and Frozen Semen From Stallions Supplemented with Antioxidants and Fatty Acids. *Journal of Equine Veterinary Science*, 46, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.07.003>
- Freitas, M. L., y De Oliveira, R. A. 2017. Nutraceutical in male reproduction. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*, 40, 1–10. <https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm220118>
- Galiana, C., & Valencia, J. (2012). *Reproducción de Animales Domésticos* (3a ed.). Ciudad de México: LIMUSA.
- Hafez, B., & Hafez, B. (2002). *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales* (7a ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Houssou H., Bouzebda-Afri F., Bouzebda, Z., Benidir, M. 2020. Evaluation of sexual behavior of stallion (Arabian versus Barb) during breeding season in Algeria. *Indian Journal of Animal Research*, 54(9), 1078–1082. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-950>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas. <https://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Estaciones>
- Kalra, E. K. 2003. Nutraceutical - Definition and introduction. *AAPS PharmSci*, 5(3), 27–28. <https://doi.org/10.1208/ps050325>
- Kumar, R., Dholpuria, S., Purohit, G. N., Ravi, S. K., Solanki, S., y Talluri, T. R. 2018. Additives effect of alpha-tocopherol, pentoxifylline and tau-rine on post thaw semen in poitou donkeys. *Veterinary Practitioner*, 19(2), 241–244

- Librado, P., Khan, N., Fages, A., Kusliy, M. A., Suchan, T., Tonasso-Calvière, L., y Hansen, S. 2021. The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. *Nature*, 598(7882), 634-640.
- Losinno J. Aguilar, L., de Producción Equina, C. 2002. Reproducción y biotecnologías en la producción equina. 1–4. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- Lozano, B. D., Huerta L., G., & Álvarez San Martín, C. (2011). Efecto de la adición de plasma seminal en el semen equino descongelado. *Valencia: Sanid. mil.* 67 (3).
- Mongioli, L., Calogero, A.E., Vicari, E., Condorelli, R.A., Russo, G.I., Privitera, S., Morgia, G., La Vignera, S. (2016). The role of carnitine in male infertility. *Andrology* 4(5): 800-807. <https://doi.org/10.1111/andr.12191>
- Nery, I. H., Araújo Silva, R.A., Souza, H.M., Arruda, L.C., Monteiro, M.M., Seal, D.C., Silva, G.R., Silva, T.M., Carneiro, G.F., Batista, A.M., Câmara, D.R., Guerra, M.M.P. (2020). Effects of L-Carnitine on Equine Semen Quality During Liquid Storage. *Biopreservation and Biobanking.* 18(5): 403-408. <https://doi.org/10.1089/bio.2020.0025>
- Plas, E., Berger, P., Hermann, M., & Pflüger, H. (2000). Effects of aging on male fertility? *Experimental gerontology*, 35(5), 543-551.
- Ravi, S.K., Kumar, H., Vyas, S., Narayanan, K., Kumari, S., Singh, J., Jan, M.H. (2016). Effect of omega-3 fatty acids enriched diet on semen characteristics in Marwari horses. *Indian Journal of Animal Sciences.* 86(6): 726–728. URL: <http://www.icar.org.in>
- Reyes Luna, E. I. (2019). Características espermáticas del semen equino descongelado usando dos crioprotectores y su efecto según la época del año en Baja California. Características espermáticas del semen equino descongelado usando dos crioprotectores y su efecto según la época del año en Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.
- Rodríguez Nuñez, L. A. (2018). Características espermáticas del eyaculado de caballos cuarto de milla ubicados en la zona costa pacífico norte y valle de Mexicali en Baja

California. Características espermáticas del eyaculado de caballos cuarto de milla ubicados en la zona costa pacífico norte y valle de Mexicali en Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.

Rodrigues, P.G., de Moura, R.S., Rocha, L.G.P., Bottino, M.P., Nichi, M., Maculan, R., Bertechini, A.G., Souza, J.C. (2017). Dietary Polyunsaturated Fatty Acid Supplementation Improves the Quality of Stallion Cryopreserved Semen. *Journal of Equine Veterinary Science*. 54: 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.08.007>

Samper, J. (2009). *Equine Breeding management and artificial Insemination*. Missouri: SAUNDERS ELSEVIER.

Sankaranarayanan, A. 2019. Nutraceuticals in Equine Medicine. *Nutraceuticals in Veterinary Medicine*, 649–655. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04624-8_45

Saraswat, S., Kharche, S. D., Jindal, S. K. (2014). Impact of Reactive Oxygen Species on Spermatozoa: A Balancing Act between Beneficial and Detrimental Effects. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 4(2): 247-255. <http://ijas.ir/main/uploads/userfiles>.

Sharma, A., Minhas, S., Dhillon, W. S., & Jayasena, C. N. (2021). Male infertility due to testicular disorders. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 106(2): 442-459. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa781>

Usuga, A., Rojano, B., Restrepo, G. (2017). Effect of Seminal Plasma Components on the Quality of Fresh and Cryopreserved Stallion Semen. *Journal of Equine Veterinary Science*. 58: 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.09.005>

Vallejo-Zamudio, E., Rojas-Velázquez, A., Torres-Bugarín, O., y Torres Bugarín, O. 2017. Una poderosa herramienta en la medicina preventiva del cáncer: los antioxidantes. *Medigraphic*, 12(3), 104–111. Retrieved from www.medigraphic.org.mx

Vélez, A. (2016). Comparación del Efecto de la Centrifugación con Coloide Equipure y del Protocolo de Refrigeración sobre la Viabilidad de la Célula Espermática en Caballo Criollo Colombiano utilizando dos medios diluyentes (Kenney, Botuspecial). Tesis. Universidad de La Salle, Bogotá.

Young, K. A., y Nelson, R. J. 2001. Mediation of seasonal testicular regression by apoptosis. *Reproduction*, 122(5), 677–685. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1220677>