



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



EFFECTO DE DOS FUENTES DE SELENIO EN LA CALIDAD SEMINAL Y LA
METILACIÓN DEL ADN ESPERMÁTICO DE SEMENTALES OVINOS.

Por:

Jesús Adrián González Meléndez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



EFFECTO DE DOS FUENTES DE SELENIO EN LA CALIDAD SEMINAL Y LA
METILACIÓN DEL ADN ESPERMÁTICO DE SEMENTALES OVINOS.

Por:

Jesús Adrián González Meléndez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Agropecuarias

Director: Dr. Héctor Aaron Lee Rangel

Asesores: Dr. Rubén Oswaldo Cifuentes López

Dr. Gregorio Álvarez Fuentes

Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0© 2 por Jesús Adrián González Meléndez

El trabajo titulado **“Efecto de dos fuentes de selenio en la calidad seminal y la metilación del ADN espermático de sementales ovinos”** fue realizado por el MVZ. Jesús Adrián González Meléndez como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Héctor Aaron Lee Rangel

Director

DCA. Rubén Oswaldo Cifuentes López

Co-Director

Dr. Gregorio Álvarez Fuentes

Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a los 28 días del mes de febrero de 2025

DEDICATORIA

A mi padre JUAN HORACIO por trabajar día a día en darme estudio, pero mas allá darme un ejemplo de constancia, dedicación y que siempre hay que tener metas por las cuales salir adelante.

A mi hermana ANA CECILIA por ser mi motor principal hasta el día de hoy, espero servir de ejemplo, que no importan las circunstancias podemos lograr grandes cosas.

A mi novia VANESSA, por acompañarme y motivarme a seguir creciendo personal, académica y laboralmente.

A mis abuelos ANTONIA Y ROMAN porque gracias a ellos conocí el mundo de la agricultura y ganadería, por dedicarme parte de su vida en formar una persona de valores y cuidarme durante mi niñez.

A la memoria de mi abuelita M. LUISA GUADALUPE, JUANI MURILLO, AMELIA GONZALEZ gracias por su infinito amor que me demostraron hasta el último momento.

A toda mi familia gracias por formar parte de lo que soy y ayudarme a salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por darme la oportunidad de una beca con el numero 844101 y el CVU 1262639.

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

A la Facultad de Agronomía y veterinaria de la UASLP.

Al Dr. Héctor Aaron Lee Rangel, Dr. Rubén Oswaldo Cifuentes López, Dr. Gregorio Álvarez Fuentes por su asesoría y dirección durante este trabajo.

Al despacho de asesoría agropecuaria especializada ASAGESP y BIOTECAP por apoyar con recursos para la elaboración del experimento.

Al Mvz. Miguel Ángel Giles por asesorarme en los muestreos de calidad seminal.

Al Ing. Miguel Molina, Ing. Julio Navidad, Mvz. Daniela Castillo por su ayuda los días de muestreo y suplementación de los animales.

A cada uno de mis maestros que fueron parte de esta etapa de la maestría.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY	x
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis.....	2
Objetivos	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Ovinocultura en México.....	3
Mejoramiento genético.....	3
Manejo reproductivo.....	4
Nutrición del carnero.....	4
Fisiología Reproductiva del Carnero	5
Selenio y su importancia	7
Selenio Orgánico.....	8
Selenito de Sodio	8
Digestibilidad y metabolismo del Se.	9
Colecta de Semen.....	9
Evaluación de las características de una muestra seminal.	10
Calidad de semen	11
Color.....	11
Aspecto.....	11
Volumen.....	11
pH.....	11
Motilidad Masal	12
Motilidad Individual	12
Concentración Espermática.....	12
Morfología Espermática.....	13
Metilación del ADN Espermático.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Ética.....	16
Localización	16
Muestreo.....	17
Análisis laboratorio.....	18
Cuantificación de 5-hidroximetilación (5-hmC).....	18
Análisis Estadístico	18
RESULTADOS.....	19
Desempeño Productivo	19
Evaluación Andrológica y Metilación del ADN Espermático.....	20

DISCUSIÓN	23
LITERATURA CITADA.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ingredientes y Análisis Proximal de las Dietas Experimentales.....	13
2	Peso vivo, Ganancia diaria de peso (GDP), Consumo de materia seca (CMS), conversión de alimento (CA), de borregos alimentados con dos fuentes de selenio.....	16
3	Evaluación Andrológica y Metilación del ADN Espermático de Borregos Alimentados con dos Fuentes de Selenio.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Graficas de Frecuencia, Promedio y Distribución de Parámetros Cualitativos de Semen Proveniente de Sementales Suplementados con Dos Fuentes de Selenio.....	18
2	Metilación del ADN espermático del Semen de Borregos Suplementados con Dos Fuentes de Selenio.....	19

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) sobre las variables macroscópicas, microscópicas y metilación del ADN del semen de carneros suplementados. Se utilizaron 15 carneros machos de la encaste dorper alimentados con una dieta base estos fueron asignados de manera aleatoria a uno de los siguientes tratamientos: T1= selenio orgánico (levadura de selenio 8 ppm), T2= selenio inorgánico (selenito de sodio 1 ml/ 50 kg de peso) y T3= grupo testigo. El análisis de datos se realizó mediante un diseño completamente al azar haciendo una comparación de medias (Tukey). Los animales se adaptaron a las dietas durante un periodo de 15 días, al finalizar se inició con el periodo de suplementación que fue de 45 días para tener una fase de campo total de 60 días. Al inicio del experimento se midió la circunferencia escrotal, se tomó una muestra de eyaculado por el método de vagina artificial para evaluar las características macroscópicas y microscópicas como lo son: color, volumen de eyaculado, movilidad, motilidad masal, morfología de los espermatozoides, posteriormente se evaluó la metilación del ADN. Las variables de crecimiento fueron mejoradas ($P < 0.05$) por la suplementación con selenito de sodio. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables macroscópicas, aunque dentro de las microscópicas el MM y volumen fue mayor ($P < 0.05$) para los carneros suplementados con selenio. Así mismo, la metilación del ADN espermático no mostro diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. El uso de selenio en sementales ovinos es viable ya que mejora algunas de sus características como lo son MM y volumen.

Palabras clave: Selenio, Evaluación espermática, metilación, sementales, ovinos

SUMMARY

This study aimed to evaluate the effect of two sources of selenium (organic and inorganic) on macroscopic, microscopic, and DNA methylation variables of semen from supplemented rams. Fifteen male rams of the Dorper breed fed a base diet were randomly assigned to one of the following treatments: T1= organic selenium (selenium yeast 8 ppm), T2= inorganic selenium (sodium selenite 1 ml/ 50 kg body weight) and T3= control group. Data analysis was performed using a completely randomized design with a comparison of means (Tukey). The animals were adapted to the diets for 15 days, at the end of which the supplementation period of 45 days was initiated for a total field phase of 60 days. At the beginning of the experiment, the scrotal circumference was measured, and an ejaculate sample was taken by the artificial vagina method to evaluate macroscopic and microscopic characteristics such as color, ejaculate volume, motility, mass motility, sperm morphology, and later DNA methylation will be assessed. No significant differences ($P < 0.05$) were found for the macroscopic variables, although within the microscopic variables, MM and volume were higher ($P < 0.05$) for rams supplemented with selenium. Likewise, sperm DNA methylation did not show significant differences ($P < 0.05$) between treatments. The use of selenium in sheep sires is viable since it improves some of their characteristics, such as MM and volume.

Keywords: Selenium, Spermatic evaluation, methylation, Ram

INTRODUCCIÓN

En los ovinos, el macho juega un papel relativamente importante en la reproducción, ya que dependiendo del método utilizado para dar los servicios la relación carnero-oveja puede variar de 1:30 a 1:100 y aún más si se usa la inseminación artificial (IA). Sin embargo, es una tendencia frecuente tanto de productores como de investigadores el prestar menos atención al carnero que a las ovejas. El éxito o fracaso de la participación del macho dependerá de la eficiencia reproductiva, su estado de salud, de su libido, de su capacidad para detectar, montar y servir a las ovejas en celo, así como la cantidad y calidad de los espermatozoides producidos (Galina y Valencia, 2008).

En términos generales, el volumen testicular determina la capacidad de producción espermática en el carnero (Andrews *et al.*, 1975). El máximo volumen testicular está limitado por el potencial genético del animal o de la raza, pero el plano nutricional puede limitar la manifestación de ese potencial (Allen *et al.*, 1986). La deficiencia de Se afecta la salud y producción del rebaño ovino, puede causar mortalidad alta de corderos durante la lactancia y crecimiento, reduce la ganancia de peso de ovinos en crecimiento y ocasiona problemas reproductivos como retención de placenta de las ovejas y menor calidad del eyaculado en los sementales (Kendall *et al.*, 2000).

En el centro del territorio mexicano se han diagnosticado desbalances de macrominerales con deficiencias graves de Yodo (I), Selenio (Se), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en los rebaños ovinos., pero no se han establecido programas de suministro de minerales para corregir las deficiencias y evaluar la respuesta animal (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011; Ramírez *et al.* 2004).

El Selenio (Se) es un componente indispensable del sistema antioxidante en el organismo que se puede encontrar en dos presentaciones: inorgánicas como el selenito de sodio (SS) y orgánicas (levadura selenizada) es la fuente de selenio orgánico (SeO) más biodisponible.

La metilación del ADN es uno de los mecanismos epigenéticos implicados en la regulación de la expresión génica en mamíferos.

Es de suma importancia el tener carneros que nos aporten excelente material genético a partir de un eyaculado de calidad para así poder aumentar los porcentajes de fertilidad y fecundación tanto en monta directa como en procedimientos de tecnologías reproductivas como lo es la inseminación artificial (Dorantes *et al.*, 2004).

Hipótesis

La suplementación con diferentes fuentes de selenio mejora la calidad seminal y afecta la metilación del ADN espermático.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la suplementación con dos fuentes de selenio en la calidad espermática y metilación del ADN espermático.

Objetivos específicos

Medir el efecto de la suplementación con Selenio en la circunferencia escrotal, volumen de eyaculado, color, concentración espermática, motilidad masal y progresiva.

Analizar la metilación del ADN espermática en muestras de ovinos suplementadas con dos fuentes de Selenio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Ovinocultura en México.

En México, la producción de carne de ovino conforma cerca del 1% de la producción total de carne. A pesar de ello, su relevancia va más allá de esta cifra, ya que aporta proteínas esenciales y un ingreso constante a numerosas familias rurales. A su vez, la ovinocultura es fundamental para la obtención de lana, utilizada en la industria textil, y para la producción de leche, que se convierte en diversos productos lácteos (SIAP, 2023).

La Carne de Carnero

Esta carne es muy rica en vitaminas, minerales y ácidos grasos, esta carne tiene una preferencia por la poca grasa en canal, riñonada amplia, piernas cortas y gruesa, cuello corto y ancho, (Desdemonia martinez, 2020).

Los sistemas de producción pueden influir en la composición de la carne, la calidad del músculo y sus propiedades nutricionales. No obstante, según Cardona et al. (2019), los genes también desempeñan un papel clave en la calidad de la carne y el perfil de ácidos grasos, basándose en el análisis de información genotípica y fenotípica.

Mejoramiento Genético.

El proceso consiste en seleccionar a los individuos de la población que se consideran superiores con características específicas, y estos serán los que se reproducirán. De este modo, se busca que la mayoría de los ovinos del rebaño hereden los genes más favorables. (De la Barra y Uribe, 2009).

Actualmente, este método de selección animal sigue siendo común entre los productores. Por otro lado, ahora disponen de herramientas basadas en la teoría genética que permiten un progreso genético mucho más acelerado. En esencia, todos los productores actúan como genetistas, ya que seleccionan los reemplazos (machos y

hembras) y determinan las características predominantes en sus rebaños. (Barajas *et al.*, 2006).

Manejo Reproductivo.

Alonso-Aguerrebet (1981) menciona que el manejo reproductivo en los ovinos es primordial tanto para la producción de pie de cría, como para corderos de abasto; así, la actualidad existe técnicas que nos ayudan a incrementar la eficiencia reproductiva como lo son:

- Selección de la raza adecuada
- Sistema de cruzamiento oportuno
- Control de la calidad del semen en los carneros y la selección de estos.
- Buen manejo nutricional.
- Diagnóstico de gestación temprana
- Reducción en la pérdida de corderos.

Nutrición del Carnero

Los carneros que reciben una mejor alimentación muestran una mayor eficiencia testicular, produciendo más espermatozoides por gramo de testículo. Por lo tanto, una estrategia de manejo para optimizar el uso de los carneros es incrementar el nivel de alimentación 60 días antes del empadre. La nutrición influye en el tamaño testicular, el diámetro de los túbulos seminíferos y la producción espermática. Aunque los efectos de la nutrición sobre la función reproductiva del carnero se conocen desde hace tiempo, los mecanismos y señales involucrados aún no están completamente establecidos. El aumento del volumen testicular que se observa tras mejorar la dieta no se acompaña de un incremento en la secreción de testosterona por el testículo. Esta respuesta incluye un aumento en la pulsatilidad de la LH, que se manifiesta 2 a 3 días después de comenzar la suplementación, pero que desaparece y se vuelve indetectable tras 3 semanas. Por otro lado, la concentración de FSH aumenta entre 7 y 10 días después de iniciar la suplementación y se mantiene elevada durante varias semanas. La tercera respuesta es un

aumento en el tamaño testicular, observable al menos 2 a 4 semanas después, y que persiste durante al menos dos meses. (Galina y Valencia, 2008).

Fisiología Reproductiva del Carnero

En los carneros una de las principales funciones del testículo es producir espermatozoides a este proceso se le conoce como espermatogénesis la cual se compone en tres fases; Proliferación de células (espermatocitogénesis), Mitosis y reducción cromática (meiosis), maduración de espermátidas.

A partir de la línea germinal se forma el gameto masculino: el espermatozoide, a diferencia del gameto femenino que hay un número limitado de células por hembra, los espermatozoides son de producción continua. (Galina y Valencia, 2008)

Hafez *et al.*, menciona que la producción de espermatozoides se encuentra regulada por la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) a nivel hipotalámico, desencadenando un aumento de las hormonas foliculoestimulante (FSH) y luteinizante (LH) en la hipófisis. Lo cual estas hormonas tienen una interacción directa en la espermatogénesis y la secreción de testosterona en las células de Leydig del estroma testicular. El proceso de la producción de esperma en los carneros tarda aproximadamente 49 días (7 semanas). (Sutovsky y Manandhar, 2006).

Foot (1983) El espermatozoide, en una fase ya diferenciado, sale del testículo y atraviesa los conductos eferentes, continuando su desarrollo y maduración en el epidídimo. Este órgano desempeña un papel fundamental en el transporte, nutrición, almacenamiento y maduración de los espermatozoides. La cola del epidídimo desempeña un papel clave en el almacenamiento de los espermatozoides, donde pueden permanecer durante semanas conservando su capacidad fecundante. Para mantener la viabilidad espermática, es esencial una temperatura constante, siempre inferior a la testicular. Los cambios funcionales más significativos en los espermatozoides ocurren en los conductos eferentes y la cabeza del epidídimo, donde incorporan el factor de decapitación. Posteriormente, en la parte distal del cuerpo y la cola del epidídimo, adquieren su capacidad para fertilizar.

Sheep Production Handbook (2002), nos menciona que los carneros llegan a la madurez sexual entre los 5 y 7 meses de edad cuando el carnero ha alcanzado entre el 50% y el 60% de su peso adulto, a esta etapa se le conoce como pubertad. El tamaño testicular tiene relación con la capacidad del carnero para producir espermatozoides, así como la palpación de la cola del epidídimo ayuda a valorar las reservas de esperma. La época del año (horas luz), Edad y jerarquía tiene un efecto en la actividad sexual, a esto se le conoce como estacionalidad. (Mickelsen *et al.*, 1982; Schanbacher y Lunstra, 1976).

El aparato reproductor del carnero se conforma por los siguientes órganos.

Testículos: su principal función es producir hormonas esteroides y los espermatozoides. Estos deben tener una consistencia firme, de un tamaño grande y que se encuentre dentro de la piel denominada escroto, una medida promedio de la circunferencia escrotal es de 30 cm. (Hafez y Hafez, 2000; Angulo y Mejía, 2003).

Mesquita et al. (2009) menciona que, en relación con el escroto, es una cavidad de piel que contiene a los testículos en la región inguinal, divididos por el dartos, y el escroto se forma por las siguientes capas:

- Túnica vaginal
- Dartos
- Musculo cremáster
- Piel

Epidídimo. Es un tubo sinuoso que se encuentra pegado al testículo por medio de un ligamento, el epidídimo se divide en: cabeza, cuerpo, cola. (Angulo y Mejía, 2003).

Cola del epidídimo. En este segmento es donde se almacenan los espermatozoides, antes de llegar a este segmento, los espermatozoides adquieren motilidad y madurez, en este lugar se pueden almacenar hasta 10-20 eyaculaciones. (Angulo y Mejía 2003).

Conductos eferentes. Inician en el rete testis y terminan en la cabeza del epidídimo para depositar ahí los espermatozoides. (Mesquita y Fritsch, 2009).

Conductos deferentes. Los espermatozoides salen de la cola del epidídimo, atraviesan el cordón espermático y se dirigen hacia la ampolla. Los conductos deferentes tienen la

función de impulsarlos hasta la ampolla, permitiendo que alcancen la uretra pélvica durante la eyaculación. (Angulo y Mejía, 2003).

Glándulas sexuales accesorias. Son tres las glándulas tienen forma ramificada y tuberosa estas tres glándulas son la próstata, glándulas bulbo uretrales o de Cowper y vesículas seminales, aportando estas el 90% de la parte líquida en el eyaculado (Angulo *et al.*, 2003).

Uretra. Es una porción de tubo que comunica la vejiga y el conducto deferente con el exterior.

Pene. Es el órgano copulador, capaz de modificar posición y tamaño durante la erección para así facilitar la introducción en el órgano femenino (Paramo, 2009).

Selenio y su Importancia

El Selenio (Sel) como elemento esencial en la fisiología animal quedó demostrada en 1957, al señalar que su deficiencia, en asociación con la vitamina E, provoca la enfermedad conocida como “músculo blanco” (Muth *et al.*, 1958; Amuerman y Miller, 1975). Fue Rotruck (1973), con el descubrimiento del glutatión peroxidasa (GSH-Px), que se comenzó a entender el mecanismo biológico y su importancia como componente estructural de las "selenoenzimas". Este hallazgo reveló su papel crucial en la regulación de los procesos oxidativos celulares y en la protección de los sistemas de membranas. La carencia del Sel impide la síntesis y función de la GSH-Px y los peróxidos generados en el metabolismo intermediario de las células, oxidando y dañando las grasas y proteínas de las membranas, en particular las mitocondriales y los celulares (Combs., 1986). Ammerman y Millar (1975) nos dicen que la GSH-Px de los eritrocitos está conformada por cuatro átomos de Sel incorporados en forma de selenocisteína.

La ventaja de utilizar selenio en forma de L-selenometionina (L-SeMet) en comparación con fuentes inorgánicas, como el selenito sodio, radica en su capacidad para ser incorporado directamente en las proteínas. Este selenio, en forma de L-SeMet, actúa como un depósito de almacenamiento dentro del organismo. Otros compuestos de selenio, como el seleniuro de hidrógeno (H₂Se), se encuentran siempre en estado reducido y luego se convierten de nuevo en selenocisteína para ser incorporados en las selenoproteínas. En

la forma de selenito de sodio no puede funcionar como reserva de selenio en el cuerpo, por lo que cualquier exceso se excreta para evitar su toxicidad. L-SeMet es el único compuesto de selenio que puede unirse a las proteínas estructurales del animal, como las del músculo y el hígado, sin necesidad de conversión. Esto garantiza un suministro óptimo de selenio, incluso en períodos de estrés, como los causados por el calor, cuando la ingesta de selenio a través de la dieta es limitada y, al mismo tiempo, la demanda es alta para reducir los radicales libres y proteger a las células de posibles daños. Los estudios han demostrado que el selenio proveniente del selenito sódico se excreta aproximadamente tres veces más que el de la L-SeMet. (Skrivan *et al.*, 2008).

Selenio Orgánico

Weiss (2003) señala que el selenio orgánico se suministra en forma de levaduras unidas a metionina, lo que facilita su absorción a través de la pared intestinal y su entrada en el "pool" de metionina, integrándose a las proteínas y formando un "pool" de selenio orgánico. Aunque se sugiere frecuentemente utilizar la concentración y actividad del glutatión peroxidasa en la sangre como un método indirecto para poder evaluar los niveles de selenio (Suzuki y Ogra, 2002).

Selenito de Sodio

El selenio (Se) es un mineral traza con propiedades antioxidantes que, junto con la vitamina E, desempeña funciones esenciales en la prevención de daños celulares (Mahmoud *et al.*, 2013). Ambos forman parte del sistema antioxidante del organismo, protegiéndolo contra el estrés oxidativo, una condición resultante del desequilibrio entre las especies de oxígeno reactivo (radicales libres) y los antioxidantes en el cuerpo. Este desequilibrio puede causar daño a los espermatozoides, deformidades e, incluso, infertilidad masculina (Bansal y Bilaspuri, 2011; Agarwal *et al.*, 2014).

En sementales ovinos, el selenio (Se) y la vitamina E mejoran la calidad del semen, lo cual está asociado a una mayor concentración de testosterona y una mayor actividad de la

enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) en el suero sanguíneo (Mahmoud *et al.*, 2013). En sementales caprinos, el selenio orgánico mejora el estado antioxidativo y eleva los niveles de testosterona y T3 en el plasma seminal y el suero sanguíneo, proporcionando así una mayor protección a los espermatozoides contra el daño oxidativo, lo que es crucial para la producción de semen de alta calidad (Kumar *et al.*, 2013).

Digestibilidad y metabolismo del Se.

El Se comenzó a ser adicionado a la dieta de los animales a dosis de 0.1 mg/Kg. de materia seca (FDA., 1979). Por recomendación de la FDA., (1989), se aumentó a 0.3 mg/Kg. pero, aun así, Stowe y Herdt., (1992), encontraron que vacas suplementadas con esta concentración de Se sufrían la deficiencia. La digestibilidad y absorción del Se en los rumiantes es muy baja, alrededor del 19% en ovejas (Wright y Bell, 1966; Amuerman y Millar, 1975) y del 11% en vacas (Koenig *et al.*, 1991). Esta baja digestibilidad se relaciona a que en el rumen el selenio se transforma a formas poco asimilables. Pese a esto, Wagner *et al.* (1968) descubrieron que los microbios ruminales de ovejas adultas contenían, en promedio, una concentración de selenio cuarenta y seis veces mayor que la presente en la dieta que consumían los animales, en base a materia seca. Este selenio microbiano, que debería ser altamente digestible para el rumiante, se encuentra en forma de selenometionina.

Colecta de Semen

En los ovinos el método más eficaz para la recolección de semen por su destacada rapidez, higiene y por el nulo estrés generado en el animal es la vagina artificial. Así mismo, permite obtener una muestra de semen de alta calidad. Este dispositivo es la simulación más cercana a la vagina de la oveja, proporcionando los estímulos necesarios para lograr la erección del pene y la eyaculación que son factores térmicos (temperatura) y mecánicos (presión) necesarios. La frecuencia de las colecciones como el estado del animal tendrán influencia en la calidad del semen. (Evans y Maxwell, 1990). Los componentes de una vagina artificial son: un cilindro de goma rígida con 13 cm de largo

y 5 cm de diámetro, en el cual encontramos un orificio con un tapón con rosca, por el cual se le da la temperatura al dispositivo introduciendo agua caliente buscando simular la temperatura de una hembra 40 °C, y aire para replicar las propiedades de temperatura y presión idóneas. Además, debe existir una membrana de látex que sirve para dar la textura interna de nuestra vagina. (Bearden y Fuquay, 1982).

Para facilitar la monta y aumentar la libido del carnero se apoya de una hembra. El operador se ubicada al lado derecho de la hembra, se posiciona la vagina artificial en ese mismo flanco, sujetándola con la mano derecha de manera que el extremo abierto quede orientado hacia el macho. La válvula de la vagina debe estar inclinada hacia abajo en un ángulo aproximado de 45°, evitando en todo momento el contacto con el carnero. En el momento del salto, el operador desvía el pene hacia el interior de la vagina artificial con la mano izquierda, asegurándose de hacerlo desde el prepucio para evitar su retracción. En cuanto el macho tiene el estímulo dado por la temperatura se espera observar un movimiento denominado "golpe de riñón" y eyaculara en el tubo graduado. (Evans y Maxwell, 1990). Se conocen otros métodos para la obtención de semen, como lo son la electroeyaculación, que consta introducir vía rectal un electrodo bipolar, a una longitud no mayor de 10cm. Aplicando ondas eléctricas con intervalos de tiempo definidos para así conseguir la erección del pene y posteriormente la eyaculación. Esta maniobra tiene una duración aproxima de entre 10 y 15 minutos, con considerables variaciones individuales (Hafez, 2002).

Evaluación de las Características de una Muestra Seminal.

Mediante el análisis en laboratorio de diversos parámetros espermáticos se puede estimar la fertilidad de un semental, estos sirven como indicadores de la calidad seminal del reproductor en cuestión. (Sorensen, 1991). Estos parámetros están divididos en 2 grupos los macroscópico (color, aspecto, volumen, pH) ya que pueden ser evaluados a simple vista de la muestra seminal; y microscópicos (motilidad masal, motilidad individual, concentración espermática, anormalidades, integridad de membrana y vitalidad) que deben ser evaluados utilizando un microscopio (Aisen, 2004).

Calidad de Semen

Color

Pérez (1985) menciona que existe una relación directa entre la intensidad del color y la abundancia espermática. La coloración de una muestra seminal está relacionada directamente con el número de espermatozoides presentes en el eyaculado dando una coloración blanquecina o amarillenta cuando la muestra es de muy buena calidad. Cuando la muestra espermática es de mala calidad presenta una apariencia de leche diluida (Hafez, 1996). Una pigmentación rojiza en el semen indica la presencia de sangre, mientras que tonalidades grises o marrones sugieren contaminación o infección. En estos casos, se debe descartar la muestra obtenida y revisar la condición de salud del carnero. (Gibbons et al., 2004).

Aspecto

El aspecto o densidad del semen depende de la relación de dos factores: la concentración de espermatozoides y la calidad del plasma seminal. Las muestras con una alta consistencia contienen más espermatozoides que las muestras más acuosas. El semen debe tener un aspecto cremoso - lechoso y homogéneo (Evans y Maxwell, 1990).

Volumen

El volumen puede variar según la edad, tamaño, condición corporal del carnero, intervalos de colección y habilidad del manejador, por el método de la vagina artificial se obtiene en promedio 1 ml por eyaculado. (Gibbons *et al.*, 2004). El volumen de un eyaculado se puede encontrar en un rango de 0.5 a 2.0 ml con una media de 0.8 ml. Se conoce, además, que las cópulas reiteradas con un intervalo demasiado corto disminuye el volumen recolectado y, por lo contrario, la excitación acentuada aumenta (Pérez y Pérez, 1985).

pH

El valor del pH se determina por la interacción entre las reacciones glandulares con efecto tampón y la concentración iónica del material presente en las asas de Henle y el epidídimo. En ovinos, el pH tiende hacia la acidosis, lo cual es crucial porque de ello depende su capacidad fecundante. Por el contrario, una reacción alcalina se asocia con una baja fertilidad, y a menudo se acompaña de necrospermia, así como de una reducción en la concentración espermática y la motilidad (Evans y Maxwell, 1990).

Motilidad masal

La motilidad masal evalúa la formación y avance de ondas generadas por el movimiento de los espermatozoides. Estas ondas de movimiento solo pueden observarse en especies con alta concentración espermática, como es el caso de los pequeños rumiantes (Evans y Maxwell, 1990). La evaluación se realiza mediante microscopía óptica a 100 aumentos (100x), utilizando una pequeña gota de semen puro colocada sobre un portaobjetos calentado a 37 °C. (Pérez y Pérez, 1985; Padrón *et al.*, 1998).

Motilidad individual

Esta es una de las pruebas más comunes para evaluar la calidad del semen diluido. En algunas especies, muestra una posible correlación con la capacidad fertilizante de los espermatozoides. Cuando menos del 40% de los espermatozoides presentan movimiento lineal progresivo, la probabilidad de fertilidad disminuye. Debido a la influencia de las variaciones de temperatura en la motilidad espermática, las muestras deben evaluarse lo antes posible. (WHO, 1992). La técnica consiste en observar al microscopio una muestra de semen diluido en una lámina portaobjetos temperada a 40x. Se denominan espermatozoides móviles aquellos que presentan actividad y movimiento progresivo. La motilidad individual representa el porcentaje de espermatozoides móviles en relación con el total de espermatozoides observados. (Sorensen, 1991; Arthur, 1991).

Concentración espermática

Esta se define como la cantidad de espermatozoides por mililitro (esp/ml). Los métodos empleados para calcularla varían según la rapidez y precisión deseadas. (Evans y Maxwell, 1990). Existen diferentes métodos para medir la concentración espermática, destacándose el recuento con la cámara de Neubauer y el uso del fotocolorímetro. Ambos son métodos precisos; no obstante, aunque el fotocolorímetro ofrece un recuento más rápido, su costo es superior al de la cámara de Neubauer. (Gibbons, 2004). Para aprovechar al máximo una muestra de semen de alta calidad, se busca dosificarla adecuadamente, es decir, obtener la cantidad óptima de espermatozoides en un volumen específico, permitiendo así manejar múltiples dosis para inseminación. Por ello, es fundamental conocer la cantidad de espermatozoides por mililitro de eyaculado, ya que esto permite calcular cuántas dosis pueden prepararse y, en resumen, cuántas veces puede diluirse la muestra. (Evans y Maxwell, 1990). Guillén (2001), evaluó las características

seminales de carneros obteniendo concentraciones de 3.14×10^9 espermatozoides/ml. Así mismo, Huamán (2003), reportó concentraciones de 3.63, 3.316, 2.78 y 2.67×10^9 esp/ml.

Morfología espermática

La morfología espermática se refiere al análisis de la forma de los espermatozoides y permite evaluar las probabilidades de que una célula espermática sea apta para la fertilización. El objetivo de esta evaluación es identificar y descartar los espermatozoides que no sean ideales para la reproducción. (Madrid y Bohada, 1993). La presencia de un alto porcentaje de formas anormales de espermatozoides suele asociarse con inmadurez sexual, procesos degenerativos y diversas patologías (Ascue, 1985).

Las anomalías encontradas en los espermatozoides se dividen en dos categorías: anomalías primarias y secundarias. Las anomalías primarias ocurren durante el proceso de espermatogénesis y pueden presentarse en distintas partes: en el acrosoma (como pérdida del borde apical, abultamiento, arrugas, formación incompleta o desdoblamiento), en la cabeza (formas piriformes, con flagelo, lanceoladas, irregulares, angostas, dobles, macrocefálicas o microcefálicas), en el cuello (fractura, retroflexión o presencia de gotas citoplasmáticas) y en la cola (corta, doble, retorcida, o con gotas citoplasmáticas).

Por otro lado, las anomalías secundarias surgen durante el transporte de los espermatozoides desde el túbulo seminífero y/o el epidídimo hasta la uretra durante la eyaculación, e incluyen características como cabezas sueltas y desprendimiento del acrosoma, entre otras. (Evans y Maxwell, 1990). La morfología espermática es una de las características más analizadas en el examen seminal (Madrid y Bohada, 1993). Tradicionalmente, su estudio ha recurrido a técnicas de tinción, siendo la eosina-nigrosina una de las más destacadas. (Merino, 2003).

Un eyaculado de carnero se considera normal cuando el porcentaje de formas anormales es inferior al 15%. La morfología espermática puede presentar variaciones debido a factores como el estrés ambiental, características individuales, temperatura, estación del año, entre otros. (Gibbons, 2004). Merino (2003), trabajando con 3 carneros de 2 a 3 años de edad, reportó 12,8% de anormalidades. Así mismo, Brito *et al.* (2003), trabajando con el semen de carneros de las razas Rambouillet y Suffolk; y, utilizando frotis de semen teñido con los colorantes eosina y nigrosina, reportaron 15% de anormalidades.

Metilación del ADN espermático

La metilación del ADN en dinucleótidos CpG es uno de los mecanismos epigenéticos implicados en la regulación de la expresión génica en mamíferos. Los patrones de metilación son específicos para cada especie y tipo de tejido. La maquinaria implicada comprende diferentes proteínas reguladoras incluyendo a las ADN metiltransferasas, desmetilasas putativas, proteínas de unión a CpG metilados, enzimas modificadoras de histonas y complejos remodeladores de la cromatina. La metilación del ADN es de vital importancia para mantener el silenciamiento génico en el desarrollo normal, la impronta genómica y la inactivación del cromosoma X. (Rodríguez Dorantes y Téllez Ascencio, 2004).

El término epigenética ha sido definido como "los cambios heredables en la expresión génica que ocurren sin una alteración en la secuencia de nucleótidos del ADN." (Wolffe y Matzke, 1999). Así, un mecanismo epigenético puede ser entendido como un sistema complejo para utilizar selectivamente la información genética, activando y desactivando diversos genes funcionales. Las modificaciones epigenéticas pueden implicar la metilación de residuos de citosina en el ADN y/o cambios en la estructura de la cromatina que regulan la expresión génica (Metilación ADN).

El ADN está expuesto constantemente a agentes físicos, químicos o biológicos que pueden originar mutaciones y alterar la información genética del individuo. Las modificaciones en el ADN pueden surgir por moléculas o mecanismos endógenos del metabolismo celular, errores en el proceso de la replicación del ADN, ciertas infecciones virales e incluso por factores ambientales como la luz ultravioleta, agentes químicos o la radiación ionizante. Estos factores interfieren en procesos como la transcripción y la replicación, e inclusive pueden provocar un descontrol en la división celular. La variabilidad genética también es necesaria para proporcionar adaptabilidad a las especies al cambiante medio ambiente; no obstante, cierta información genética es crucial y su modificación sería incompatible con la supervivencia del organismo.

Para preservar la información genética lo más fielmente posible el organismo dispone de mecanismos complejos de reparación del ADN. En la mayoría de las ocasiones los cambios en el ADN no se manifiestan con cambios fenotípicos y no presentan efectos

adversos en el organismo; pero algunas mutaciones sí pueden llegar a ser fatídicas, por lo que su persistencia se trata de evitar mediante mecanismos de reparación que implican complejos sistemas enzimáticos que buscan corregir las mutaciones (Janion, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ética

Los procedimientos con animales fueron revisados y aprobados por el Comité para el Uso Ético de Animales en Experimentos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, según normativa y estándares que son requeridos por el gobierno mexicano para el uso de animales para una serie de diversas actividades. Ley federal de especificaciones técnicas para el cuidado y uso de animales de laboratorio y para explotaciones ganaderas; granjas; centros de producción, reproducción y cría; zoológicos; y exposición. Los pabellones deben cumplir con los principios básicos de bienestar animal (NOM-062-ZOO-1995).

Localización

El trabajo se realizó en las instalaciones del rancho ovino Mezquital de los Reyes ubicado en el municipio de Matehuala S.L.P., México. El clima es seco de tipo B S kw(w)(i), que equivale a un clima seco estepario frío, con temperaturas anuales de 18°C (7.5°C mínima y 35 °C máxima), siendo mayo, junio y julio los meses más calurosos, la precipitación media anual de 331 mm siendo los meses de mayo a septiembre los de mayor precipitación.

Se utilizaron 15 sementales ovinos de la raza Dorper alojados en corrales comunales, alimentados con heno de alfalfa y avena a libertad con disponibilidad de agua a libre acceso durante el periodo experimental. Los carneros serán asignados completamente al azar a tres tratamientos experimentales con 6 repeticiones por tratamiento, los cuales serán; T1=Testigo, T2= SS (1 ml/ 50 kg de peso) y T3= SO (8ppm), el periodo experimental constara de 15 días de periodo de adaptación más 45 días experimentales.

Cuadro 1. Ingredientes y Análisis Proximal de las Dietas Experimentales.

	Tratamientos		
	Testigo	SelSod	SelMet
Ingredientes, g/kg MS			
Rastrojo de Maíz	120	120	120
Salvado de Trigo	50	50	50
Grano de Maíz Entero	600	600	600
Pasta de soya, 48% PC	150	150	150
Melaza de caña	50	50	50
Vitaminas y Minerales ¹	30	30	30
Selenio Metionina	-	-	4
Análisis proximal			
Materia seca, g/kg	920.5	920.5	920.5
Materia húmeda, g/kg	79.5	79.5	79.5
Materia orgánica, g/ kg MS	936.8	936.8	936.8
Proteína cruda, g/kg MS	154.6	154.6	154.6
Fibra detergente neutro, g/kg MS	349.2	349.2	349.2
Fibra detergente ácido, g/kg MS	88.9	88.9	88.9
Extracto etéreo, g/kg MS	56.1	56.1	56.1
Cenizas, g/kg MS	63.2	63.2	63.2

¹ Lapsal, en base seca: Retinol; 150, 000, 000 UI/kg, Calciferol; 30,000,000 UI/kg, Alfa tocoferol;40,000 UI/kg, Ca, 12 %; P; 4.37%, Na, 6.1%; Se; 20 ppm.

² Valores calculados de acuerdo al NRC (1985).

Muestreo

En los días 0 y 45 del experimento se midió la circunferencia escrotal y se realizó la colecta de semen por el método de vagina artificial ya que es un método que no causa alteraciones físicas a la muestra (Aisen, 2004; Gomes, 1984). Después de cada uso se debe lavar, enjuagar con agua destilada y secarla profundamente, para la toma de la siguiente muestra (Bearden y Fuquay, 1982). Se tomó aproximadamente 1 µl de semen para la medición de la calidad seminal, la cual se realizó al instante, mediante microscopía óptica. El volumen del eyaculado se midió con un tubo vial de plástico acoplado a la vagina artificial y el color del eyaculado se comparó con un patrón fotográfico. Se tomaron dos muestras en un tubo vial de 1.5 ml los cuales fueron conservadas en N líquido para su posterior análisis.

Análisis de Laboratorio.

La extracción de ADN genómico se realizó mediante un kit comercial con spins (D3024 Zymo-Spin™ IIC Column, Zymo Research, Irvine, CA, EE. UU.) de acuerdo con el protocolo del fabricante. El ADN extraído se cuantificó mediante espectroscopia UV (Epoch™ 2 Microplate, Biotek, Winooski, VT, EE. UU.) y se evaluó cualitativamente mediante un gel de agarosa al 0,8 %. teñido con bromuro de etidio y confirmado mediante electroforesis en gel en un transiluminador (Benchtop 2UV™, Cambridge, Reino Unido).

Cuantificación de 5-hidroximetilación (5-hmC)

Los porcentajes de ADN genómico 5-hmC total se determinaron mediante un ELISA colorimétrico utilizando el kit Quest 5hmC DNA ELISA (Zymo Research, EE. UU.). El ADN genómico y de control total se analizaron simultáneamente, y se usaron diferentes lotes del kit ELISA para analizar todas las muestras de ADN, lo que limitara la variación en las mediciones resultantes de posibles discrepancias en el procedimiento o en el lote. Los ensayos se realizaron de acuerdo con las instrucciones del fabricante, cargando 100 ng de ADN por pocillo. La absorbancia a 405 nm se capturó utilizando un lector de microplacas Epoch™ 2 (Biotek, Winooski, VT, EE. UU.).

Análisis Estadístico

El diseño experimental que se utilizó fue un completamente al azar para medir el efecto de las dos fuentes de selenio sobre la calidad seminal, teniendo tres tratamientos con seis repeticiones cada uno. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de TUKEY con ($P \geq 0.05$) para determinar diferencias estadísticas significativas.

RESULTADOS

Desempeño Productivo

Los resultados del desempeño productivo de borregos alimentados con dos fuentes de selenio de muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Peso vivo, Ganancia diaria de peso (GDP), Consumo de materia seca (CMS), conversión de alimento (CA), de borregos alimentados con dos fuentes de selenio.

	Tratamientos			
	Test	SelSod	SelMet	EEM
Desempeño productivo				
Peso inicial, kg	53.75	56.05	52.93	1.87
Peso final, kg	60.65 ^b	66.19 ^a	60.55 ^b	1.89
Ganancia total, kg	6.8 ^b	10.14 ^a	9.3 ^b	0.98
GDP, g/día	153 ^a	225 ^b	169 ^a	0.2
CMS, kg/día	1.45 ^a	1.74 ^b	1.81 ^b	0.085
CMS /GDP	9.47 ^a	7.73 ^b	10.71 ^b	1.01

EEM=Error Estándar de la Media.

El peso inicial no fue afectado entre tratamientos para los borregos alimentados con diferentes fuentes de selenio, para la variable peso final hay una diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) siendo los borregos suplementados con selenito de sodio los que obtuvieron mayores pesos finales (66.19 kg) comparados con los testigos (60.65 kg) y los suplementados con selenio metionina (60.55 kg). De la misma manera la ganancia de peso total fue estadísticamente superior ($P < 0.05$) en los corderos suplementados con selenito de sodio (10.14 kg). No hubo diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) para la ganancia diaria de peso.

Los borregos de los tratamientos suplementados con selenito de sodio y selenio metionina consumieron más alimento que el tratamiento testigo 1.74 y 1.81 kg/día respectivamente, comparado con 1.45 kg/día de los borregos del tratamiento testigo, encontrando una diferencia estadística significativa ($P < 0.05$). Finalmente, los borregos

que se encontraban en los tratamientos anteriormente mencionados también obtuvieron la mejor eficiencia alimentaria con 7.73 para los borregos suplementados con selenito de sodio y 10.71 para los borregos suplementados con selenio metionina, mostrando una diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) comparados con los animales del tratamiento testigo que tuvieron una conversión de 9.74.

Evaluación Andrológica y Metilación del ADN Espermático

Los resultados de la evaluación macroscópica se presentan en el cuadro 3; se observa que no existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables circunferencia escrotal, volumen de eyaculado y pH.

Cuadro 3. Evaluación andrológica y metilación del ADN espermático de borregos alimentados con dos fuentes de selenio.

	Tratamientos			
	Test	SelSod	SelMet	EEM
Macroscópica				
Circunferencia escrotal, cm	30.8	31.72	31.60	1.32
Volumen de eyaculado, ml	1.20	1.4	1.35	0.07
pH	8.8	9.0	8.8	0.52
Microscópica				
Motilidad masal	3.8 ^b	5.0 ^a	4.6 ^a	0.11
Motilidad progresiva, %	76 ^b	98 ^a	92 ^a	0.46
Concentración espermática	8.104x10 ⁹	9.168x10 ⁹	6.898x10 ⁹	4.5x10 ⁷
Células vivas, %	90.4 ^b	96.0 ^a	91.8 ^{ab}	0.80
ADN espermático, % 5mcADN	48	39	32	1.45

EEM=Error Estándar de la Media.

No obstante, para las observaciones microscópicas en el CMI no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. Aunque, la motilidad masal, motilidad progresiva y el porcentaje de espermatozoides vivos si muestran incrementos ($P < 0.05$) en los sementales suplementados con las diferentes fuentes de selenio. Se muestran incrementos ($P < 0.05$) en motilidad masal siendo hasta un 31% más alto en el

tratamiento de selenito de sodio y 27% en selenio metionina respecto al testigo. Así mismo, el porcentaje de espermias vivos aumento ($P < 0.05$) para los carneros suplementados con selenito de sodio y selenio-metionina (Cuadro 3).

La distribución de tratamientos y resultados es normal, lo que nos habla de que no existe una tendencia dentro de análisis de las muestras. De forma general el semen de los sementales es “BA” así como la densidad fue la misma para todos los tratamientos. MoM es superior para el tratamiento selenito de sodio respecto al testigo pero el tratamiento selenio metionina es igual a ambos tratamientos. Es importante recalcar que las características del semen están influenciadas por el origen de los sementales, aunque no influenciadas por factores nutricionales (figura 1).

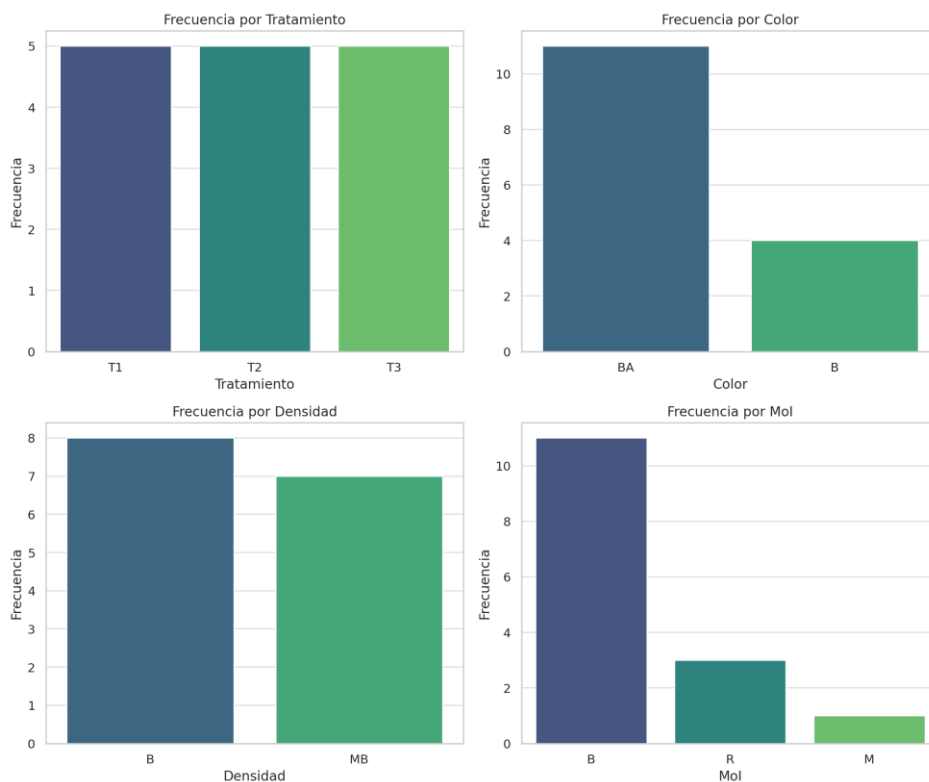


Figura 1. Graficas de frecuencia, promedio y distribución de parámetros cualitativos de semen proveniente de sementales suplementados con dos fuentes de selenio.

La metilación espermática (5hMC) no presento diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos (figura 2).

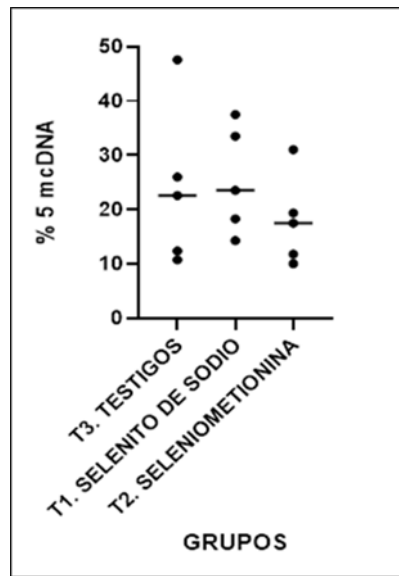


Figura 2. Metilación del ADN espermático del semen de borregos suplementados con dos fuentes de selenio.

DISCUSIÓN

En el presente experimento se encontró que el consumo de materia seca incrementa en los borregos suplementados con selenio, en contraste los estudios de Mariezcurrena-Berasain *et al.*, (2022) nos indican que con corderos suplementados con 0.35 y 0.65 ppm de levadura de selenio el consumo de materia seca disminuye conforme aumenta la cantidad de selenio suplementado, así mismo no encontraron diferencias para el resto de las variables del desempeño productivo, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jia *et al.*, (2022) quienes al utilizar niveles crecientes de levadura de selenio dietario (0.25, 0.5, 1.0 y 2.0 mg/kg), no encontraron diferencias para las variables de desempeño productivo.

Un estudio muy similar al presente (Al-Lataifeh *et al.*,2024), donde se compararon la inyección de selenito de sodio (0.5 mg/cordero), contra 0.15 mg/cordero/kg MS y corderos no suplementados, no se encontraron diferencias estadísticas significativas para, consumo de materia seca, ganancia diaria de peso y conversión de alimento, en el presente experimento reportamos una diferencia para las variables, peso final, ganancia de peso total, consumo de materia seca y conversión de alimento (cuadro 1).

Sin embargo, reportamos concordancia con los estudios realizados por Mousaie *et al.*, (2021) que nos indican que al utilizar niveles de selenio de 0.12, 0.83 y 1.54 mg/kg. Incrementa la ganancia diaria de peso conforme aumenta el nivel de selenio dietario, y la conversión de alimento mejora cuando el selenio es suplementado de la dieta basal, mostrando una reducción del 19 y 17 % en los corderos alimentados con 0.6 y 1.6 mg/ Se /kg MS respectivamente (6.5 y 6.7) comparado con el tratamiento control que señala una conversión alimentaria de 8.12. Así mismo, resultados similares fueron reportados por Bai *et al.*, (2022) quienes aseguran que la fuente de selenio utilizada a nivel experimental no afecta el desempeño productivo de los corderos, ya que en la mayoría de los experimentos incluidos los reportados por los autores las dietas basales son suficientes para cubrir el requerimiento necesario para los corderos.

Lekola *et al.* (2024) mostraron que corderos suplementados durante 150 días con selenito de sodio oral mejoran la motilidad masal, motilidad progresiva y % de células

vivas, comparado contra borregos que no son suplementados, nuestro experimento concuerda con los datos, sin embargo, hay que mencionar que el periodo de suplementación de selenito de sodio para este experimento fue de una sola aplicación parenteral de selenito de sodio y la conducida de manera oral (selenio metionina) fue por un periodo de 45 días. Aun así, encontramos resultados similares.

Durante una suplementación de 90 días con 0.1 y 0.2 mg/kg Se, adicionada con Vitamina E, Baker *et al.*, (2021) mostraron que en los tratamientos donde el selenio es suplementado hay un incremento en la motilidad masal, motilidad progresiva y de la misma manera en dichos tratamientos existe una disminución en el porcentaje de células espermáticas muertas, lo anterior concuerda con los datos obtenidos en nuestros estudios. De la misma manera el volumen de eyaculado pareciera no ser una variable que se afecte por la inclusión del selenio en los tratamientos.

Mehranfrooz *et al.* (2022) alimentando borregos con dos niveles de selenio (0 y 0.6 mg/borrego/día, mostraron que no se afecta la circunferencia escrotal en los borregos suplementados comparados con los no suplementados. La concentración espermática fue mayor en los borregos suplementados con selenio (3.8×10^9 contra 3.3×10^9), nuestros datos muestran una tendencia a incrementar la concentración espermática sin embargo no encontramos diferencias significativas, pero podemos resaltar que la concentración en nuestro experimento fue mayor (9.1 y 6.8×10^9) en los tratamientos donde se suplemento selenio.

No se encontraron diferencias significativas para las variables volumen, color, pH, motilidad y la concentración de los espermatozoides cuando se evaluó la adición de 0.5 mg/kg de selenito de sodio durante 90 días comparado con la dieta basal (Palani *et al.*, 2024), sin embargo se encontró una diferencia para la cantidad de células espermáticas anormales lo cual puede estar relacionado con los datos obtenidos en nuestro estudio ya que se encontraron un mayor porcentaje de células viables en los tratamientos donde el selenio fue utilizado.

Moya *et al.* (2020) señalaron que los ovinos del grupo 1 (testigo) recibieron suplementos de sales minerales sin Se, así mismo en otros tratamientos los ovinos del grupo 2 recibieron la misma sal mineral mezclada con 5 mg de Se (como selenito de sodio)

/kg de suplemento mineral; los ovinos del G3 recibieron 10 mg de Se/kg de suplemento mineral; los ovinos en G4 recibieron 15 mg Se/kg de suplemento mineral; y los ovinos en G5 recibieron 20 mg Se/kg de suplemento mineral. Los ovinos de todos los tratamientos fueron suplementados por 56 días. En cuanto a la evaluación de la calidad seminal, no hubo diferencias estadísticas entre los grupos de tratamiento en términos de volumen y concentración de espermatozoides, lo que concuerda con nuestros resultados. Por otra parte, la morfología del espermatozoide difirió entre los grupos de tratamiento; G1 (0 mg de selenio) tuvo el mayor porcentaje de defectos mayores, parámetro que no se tomó en cuenta en nuestro experimento.

Es importante señalar que Moya *et al.*, (2020) concluyen que las dietas suplementadas con Se (5, 10, 15 y 20 mg/kg de mezcla mineral/animal/día) redujeron las anomalías morfológicas de los espermatozoides que se clasifican como defectos mayores, incluida una cola fuertemente doblada, así como defectos del acrosoma y de la cabeza. La morfología e integridad de las células espermáticas generalmente se correlaciona con la integridad genética (Carreira., 2015). La fragmentación del ADN del espermatozoide (Qiu *et al.*, 2020; Alahmar *et al.*, 2022; Noy *et al.*, 2023) la poca participación de compuestos antioxidantes como el glutatión peroxidasa (Neamah *et al.*, 2022) y la carencia de selenio proteínicas (Ghorbani *et al.*, 2024), se ha convertido en un posible factor causante de fallo reproductivo asociada la baja calidad espermática y su evaluación se ha utilizado como una nueva herramienta de laboratorio para investigar la infertilidad en los sementales.

Uno de los principales factores que pueden afectar la calidad del semen se asocia a modificaciones de los mecanismos epigenéticos dentro de los cuales se encuentra la metilación del ADN (Dogra *et al.*, 2016). La metilación del ADN se ha implicado en numerosas funciones biológicas, como el desarrollo de espermatozoides y embriones tempranos, y la represión de retro transportadores endógenos, mientras que también tiene una amplia gama de efectos en la expresión génica (Molaro *et al.*, 2014). La desregulación de la metilación del ADN se ha asociado anteriormente con diversos trastornos, y se ha demostrado que la embriogénesis, la mortalidad perinatal, las anomalías congénitas, el parto prematuro y el bajo peso al nacer (Chen *et al.*, 2015). Nuestros resultados sugieren que ninguna de las dos fuentes de Se mejora la metilación espermática a pesar de que se

ha reportado que existen mecanismos epigenéticos alternativos dados por la suplementación con Se (Lei *et al.*, 2022); se demostró que el Se afecta el metabolismo de un Ca dados algunos cambios en las enzimas que participan en el (Huang *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

La suplementación con selenito de sodio mejora el crecimiento en sementales jóvenes, se tienen mejores ganancias de peso y conversión alimenticia, lo que sucede al suplementar con seleno-metionina. En el semen de ovinos suplementados con selenito de sodio y seleno-metionina no fueron mejoradas, a diferencia de las microscópicas donde la motilidad masal y el volumen eyaculado mejora en sementales suplementados con seleno-metionina. Finalmente, la metilación del ADN no tuvo afectación por ninguna de las fuentes de selenio.

LITERATURA CITADA

- Al-Lataifeh, F. A., Obeidat, B. S., Awawdeh, M. S., & Ata, M. A. (2024). Selenium supplementation to Awassi lambs did not improve their growth performance. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 30(5), 870-874.
- Alonso Aguerrebet Juan Ignacio. 1981. Manejo reproductivo en el ovino. *Ciencia Veterinaria* 3, 434-463
- Andrews, E. D., R. G. Hogan, and A. D. Sheppard. 1975. Selenium in soil, pastures and animal tissues in relation to the growth of young sheep on a marginally selenium deficient area. *N. Z. Vet. J.* 24: 111-116.
- Angulo, B., y O. Mejía. 2003. Memorias del curso teorico -práctico “inseminación artificial en ovinos”. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, A.C.
- Baker, A. G., Alssadi, S. A. R. A., & Mohammad, A. K. (2021). The effect of selenium and vitamin E addition on semen quality of Awassi rams. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 33(s1).
- Barajas, F., Medina, C., Miguelez, J.J., Juarez, M., Granero, A., Álvarez, J. y A. Molina. 2006. Programa de Conservación del Merino Negro: Caracterización de la aptitud productiva y valoración genética para caracteres de crecimiento. Departamento de
- Calderón-Cabrera J, Santoyo-Cortés VH, Martínez-González EG, Palacio-Muñoz VH. (2022). Modelos de negocio para la producción de ovinos en el nororiente y centro del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 13(1):145-162.
- Carlos Galina, Javier Valencia (2008). Reproducción animal, 3ra Ed, Pag.480).
- De La Barra, R. y Uribe, H. 2009. Desarrollo de núcleos genéticos ovinos. Ministerio Agricultura de Chile. INIA. Informativo n° 63.

- Desdémona, ME (2020). Características de la canal y de la carne de corderos de un sistema intensivo. *Ciencias Veterinarias*. 38(1):17-27. DOI: <https://doi.org/10.15359/rcv.38-1.2>
- Dogra, S., Sona, C., Kumar, A. & Yadav, P., N. (2016). Epigenetic regulation of G protein coupled receptor signaling and its implications in psychiatric disorders. *Int J Biochem Cell Biol* 16: S1357-S2725.
- Foote, R. Circunferencia escrotal en toros *Bos taurus* y *Bos indicus*, su correlación con la producción de semen. Comunicación personal, 1983.
- Ghorbani, A., Moeini, M. M., Souri, M., Hajarain, H., & Kachuee, R. (2024). Effect of dietary zinc, selenium and their combination on antioxidant parameters in serum and Semen of Sanjabi mature rams. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 8, 100118.
- Hafez, E. S. E., and B. Hafez. 2000. Reproductive cycles, in: Hafez, E.S.E., Hafez, B. (editors), *Reproduction in farm animals*, South Carolina USA, Lippincott Williams and Wilkins
- Janion C. Inducible SOS response system of DNA repair and mutagenesis in *Escherichia coli*. *Int J Biol Sci*, 2008;4:338 –344.
- Lei, X. G., Combs Jr, G. F., Sunde, R. A., Caton, J. S., Arthington, J. D., & Vatamaniuk, M. Z. (2022). Dietary selenium across species. *Annual Review of Nutrition*, 42(1), 337-375.
- Mariezcurrenta-Berasain, M. D., Mariezcurrenta-Berasain, M. A., Lugo, J., Libien-Jiménez, Y., Pinzon-Martinez, D. L., Salem, A. Z. M., & García-Fabila, M. (2022). Effects of dietary supplementation with organic selenium-enriched yeast on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 54(1), 49.
- Mesquita, H.M., y M. Fritsch, 2009. Gametogénesis. in: Galina, C., y J. Valencia (editores), *Reproducción de animales domésticos*, editorial limusa México. 43-57.

- Mousaie, A. (2021). Dietary supranutritional supplementation of selenium-enriched yeast improves feed efficiency and blood antioxidant status of growing lambs reared under warm environmental condition. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 138.
- Moya, C. F., Piagentini, M., Silva, D. D. C., Fernandes, F. H., Salvadori, D. M. F., & Oba, E. (2020). Selenium supplementation prevents DNA damage in ram spermatozoa. *Ciência Rural*, 51(1), e20200102.
- Noy, L., Barnea, I., Mirsky, S. K., Kamber, D., Levi, M., & Shaked, N. T. (2023). Sperm-cell DNA fragmentation prediction using label-free quantitative phase imaging and deep learning. *Cytometry Part A*, 103(6), 470-478.
- NRC se in nutrition. Rev. Ed.national academy of sciences. National research council, washington, dc, 1983.
- Qiu, Y., Yang, H., Li, C., & Xu, C. (2020). Progress in research on sperm DNA fragmentation. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 26, e918746-1.
- Ramírez B., E., C., Hernández E, C. Hernández L, y J. Tórtora P. 2004. Efecto de un suplemento parenteral con selenito de sodio en la mortalidad de corderos y los valores hemáticos de selenio. *Agrociencia* 38: 43-51.
- Vázquez-Armijo J., F., R. Rojo R, D. López, J. Tinoco L, A. González, N. Pescador S, and I. Domínguez-Vara A. 2011. Trace elements in sheep and goats reproduction: a review. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14: 1-13.