



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

EFFECTOS DE UN BOLO DE CRISTAL SOLUBLE CON
SELENIO EN VARIABLES HEMÁTICAS, ACTIVIDAD DE
GLUTATIÓN PEROXIDASA, CONCENTRACIÓN SÉRICA DE
SELENIO Y CALIDAD SEMINAL DE MORUECOS SUFFOLK
Y HAMPSHIRE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

IAZ. OSCAR CARRILLO NIETO

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

EFFECTOS DE UN BOLO DE CRISTAL SOLUBLE CON
SELENIO EN VARIABLES HEMÁTICAS, ACTIVIDAD DE
GLUTATIÓN PEROXIDASA, CONCENTRACIÓN SÉRICA DE
SELENIO Y CALIDAD SEMINAL DE MORUECOS SUFFOLK
Y HAMPSHIRE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

IAZ. OSCAR CARRILLO NIETO

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. IGNACIO A. DOMINGUEZ VARA (Tutor Académico)

Dr. NAZARIO PESCADOR SALAS (Tutor adjunto)

M. en C. SOLEDAD DÍAZ ZARCO (Tutora adjunta)

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2017

CONTENIDO

DEDICATORIAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
Resumen	ix
Abstract.....	x
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	4
2.1 Los minerales.....	4
2.2 Clasificación de los minerales	5
2.2.1 Minerales traza.....	6
2.3. Selenio (Se).....	6
2.3.1. Antecedentes.....	6
2.3.2 Actividad e importancia biológica del selenio.....	9
2.3.2.1 <i>Función como antioxidante</i>	9
2.3.4 La enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px).....	10
2.3.5 Metabolismo del selenio	12
2.3.5.1 <i>Digestión y absorción</i>	12
2.3.5.2 <i>Excreción de Se</i>	13
2.3.5.3 <i>Mecanismo de acción en la intoxicación por selenio</i>	13
2.3.6 Requerimientos de selenio.....	14
2.3.7 Contenido de selenio en el organismo	15
2.3.8. Desordenes reproductivos causados por la deficiencia de selenio	16
2.3.9 Importancia del selenio en la reproducción de pequeños rumiantes: oveja y macho ovino.....	17
2.3.10 Se en suelo y agua.....	21
2.3.11 Selenio en forraje.....	21
2.4. Aspectos reproductivos del semental ovino	22
2.5. Las razas ovinas Suffolk y Hampshire	25
2.5.1 Suffolk	25
2.5.2 Hampshire.....	25
3. Justificación	26
4. Hipótesis	28
5. Objetivos.....	29
5.1 General.....	29
5.2 Particulares	29
6. Materiales y métodos	30
6.1 Localización.....	30
6.2 Animales y manejo	30
6.3 Análisis de laboratorio.....	32
6.4 Suplementación de selenio	33
6.5 Análisis estadístico	34
7. Resultados y discusión.....	35
8. Conclusión general	43
9. Literatura citada	44

10. Anexos	56
Anexo 1. Manuscrito científico con clave de registro (carta de recepción de la revista Agrociencia)	56
Anexo 2. Presentación en Reunión Bianual de Reproducción Animal 2012. Centro Universitario UAEM Temascaltepec, México.	79

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Concentraciones de Se recomendadas para varias dietas de animales pecuarios.....	14
Cuadro 2. Efecto de la aplicación de selenio más vitamina E a cabras de un rebaño con alta mortalidad de cabritos.....	17
Cuadro 3. Efectos de un bolo de cristal soluble con selenio sobre el peso vivo, circunferencia escrotal, condición corporal, valores de hematocrito, hemoglobina, actividad de la glutatión peroxidasa y concentración de selenio en suero de moruecos Hampshire y Suffolk.....	34
Cuadro 4. Efecto del mes de muestreo, antes y después de suministrar un bolo de cristal soluble con selenio, en el cambio de PV, circunferencia escrotal, condición corporal, hematocrito, hemoglobina, actividad de GSH-Px y concentración de selenio de moruecos Hampshire y Suffolk.....	37
Cuadro 5. Efectos de un bolo de cristal soluble de selenito de sodio sobre las características del eyaculado de moruecos Hampshire y Suffolk durante la época reproductiva (noviembre a enero).....	39

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Síntesis de los aminoácidos selenometionina y selenocisteína en el organismo.....	8
Figura 2. Actividad de la enzima GSH-Px ($\text{U g}^{-1} \text{Hb}$) en sangre de moruecos con y sin selenio durante el periodo experimental en una unidad de producción ovina del valle de Toluca, México.....	36

DEDICATORIAS

A DIOS

Porque siempre está conmigo, ayudándome y guiándome, en cada uno de mis proyectos y trabajos, y todo lo que soy y tengo se lo debo a EL.

A MI ESPOSA IRAIS

Por todo lo que representa en mi vida y por impulsarme a no darme por vencido y por todos estos años de lucha a mi lado cada día. Te amo Iris.

A MIS HIJOS

Oscarin y Chabelita. Porque significan mi continuidad y son el motor para echarle ganas y para que a diario busque ser mejor en todo. Y a **Fidelito (+)** por ser ese ángel que nos cuida desde el cielo. Los Adoro.

A LA MEMORIA DE MI PADRE, ABUELITAS Y ABUELITOS

Porque desde el cielo me cuidan y protegen en cada acción que emprendo, y porque de ellos aprendí muchas cosas que me han servido para salir adelante y luchar en esta vida.

A MI MAMÁ

Por su apoyo incondicional y gran ejemplo de lucha, trabajo y buenos principios que han sido indispensables para alcanzar mis metas.

A MIS HERMANOS

Javier, Miguel Ángel, y Lupe, Por ser un ejemplo de superación, coraje y esfuerzo; y por el gran apoyo que desde niño recibí de parte de ellos. Los quiero.

A MIS SUEGROS

Don Emilio y Doña Leonor, por siempre estar al pendiente de nosotros y apoyarnos cuando se requiere. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma del Estado de México, por formarme académicamente y brindarme todos los conocimientos adquiridos que me permiten desarrollarme profesionalmente.

A MI DIRECTOR DE TESIS

Dr. Ignacio A. Domínguez Vara. Por el gran apoyo brindado para la realización de este trabajo, así como la paciencia que me tuvo y por compartir conocimientos conmigo, pero sobre todo por su amistad. Gracias Doc.

A MIS ASESORES Y MAESTROS

Dr. Nazario Pescador Salas, M. en C. Soledad Díaz Zarco, por los conocimientos compartidos en el aula y por el asesoramiento para este trabajo, y a todo el Claustro Académico del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, por todas las facilidades para mis estudios de Posgrado, así como la conclusión de este trabajo. Gracias

A MI JEFE

Lic. Oscar Gustavo Cárdenas Monroy por su valioso apoyo para desarrollarme en el ámbito político y profesional, y porque su ejemplo de trabajo y tenacidad para trascender han sido vitales en mi vida laboral, y porque siendo ambos egresados de la misma Alma Mater y del mismo pueblo coincidimos en poner en alto nuestra Universidad y nuestro querido Jocotitlán. Y arriba Cheje Jefe.

Resumen

En México se han diagnosticado deficiencias de minerales traza en ovinos, pero no se han establecido estrategias para corregirlas y evaluar su respuesta. El objetivo del estudio fue evaluar, en moruecos (9 Hampshire PV 80.6 ± 7.6 kg y 9 Suffolk PV 86.3 ± 9.3 kg), el efecto de un bolo de cristal soluble con selenito de sodio, sobre el PV, circunferencia escrotal, condición corporal, variables hemáticas, actividad de glutatión peroxidasa, concentración de selenio y características del eyaculado. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2x2x3 de tratamientos: 1) con y sin Se (bolo de cristal soluble), 2) razas (Hampshire y Suffolk) y, 3) meses de la época reproductiva (noviembre, diciembre y enero). Los datos se analizaron con el procedimiento MIXTO de SAS y la prueba de Tukey para comparar las medias ($p \leq 0.05$). El estudio se realizó de julio del año 2005 a febrero de 2006. Las muestras de sangre se obtuvieron en las semanas uno (previo al tratamiento), dos y tres de julio de 2005, y después en la cuarta semana de cada mes (de agosto de 2005 a febrero de 2006). De noviembre de 2005 a enero de 2006, mediante vagina artificial, semanalmente se evaluó el eyaculado de los moruecos. Los moruecos pastaron, durante el día, praderas de *Pennisetum clandestinum*, con confinamiento nocturno. Diariamente (08:00 h) previo al pastoreo, recibieron un concentrado (1% PV). El Se aumentó ($p \leq 0.05$) la actividad de GSH-Px, la movilidad y los espermatozoides vivos y normales. La calidad del eyaculado fue mayor ($p \leq 0.05$) en volumen, densidad, concentración y viabilidad para la raza Suffolk. En conclusión, los bolos con Se aumentaron la actividad de GSH-Px, la movilidad y viabilidad del semen de moruecos Hampshire y Suffolk en la época reproductiva.

Palabras clave: Moruecos, selenio, cristal soluble, semen, glutatión peroxidasa.

Abstract

In Mexico, trace mineral deficiencies have been diagnosed in sheep, but strategies to correct and evaluate their response have not been established. The objective of the study was to evaluate in ovine rams (9 Hampshire LW 80.6 ± 7.6 kg and 9 Suffolk LW 86.3 ± 9.3 kg) the effect of a soluble crystal bolus with sodium selenite upon LW, scrotal circumference, body condition, blood variables, glutathione peroxidase activity, selenium concentration and characteristics of the ejaculate. The experimental design was completely randomized with 2x2x3 factorial arrangement of treatments: 1) with and without Se (soluble crystal bolus), 2) breeds (Hampshire and Suffolk) and 3) months of breeding season (November, December and January). Data were analyzed using the SAS MIXTURE procedure and the Tukey test to compare the means ($p \leq 0.05$). The study was conducted from July 2005 to February 2006. Blood samples were collected at weeks one (pre-treatment), two and three July 2005, and then at the fourth week of each month (August 2005 to February 2006). From November 2005 to January 2006, by means of an artificial vagina, weekly ejaculate was evaluated. The ovine rams grazed, during the day, grasslands of *Pennisetum clandestinum*, with nocturnal confinement. Daily (08:00 h) prior to grazing, they received a concentrate (1% PV). Selenium increased ($p \leq 0.05$) the GSH-Px activity, the mobility and the live and normal spermatozoa. The quality of the ejaculate was higher ($p \leq 0.05$) in volume, density, concentration and viability for the Suffolk breed. In conclusion, the boluses with increased GSH-Px activity, the mobility and viability of semen from Hampshire and Suffolk in the breeding season.

Key words: Moruecos, selenium, soluble crystal, semen, glutathione peroxidase.

1. Introducción

La importación de sementales ovinos de alto valor genético ha sido una estrategia común en México; sin embargo, se ha dado poco seguimiento al desempeño reproductivo de tales sementales. Según un estudio realizado por Méndez *et al.* (2009) con sementales de la raza Suffolk durante su primera época reproductiva en México (octubre a febrero), el comportamiento de los valores de la circunferencia escrotal, la cuenta y la morfología espermática, así como las concentraciones circulantes de testosterona coinciden con lo indicado en la literatura para esos animales en otras latitudes, aunque en México son de menor magnitud. También indicaron que la mayor concentración de testosterona, así como la mayor producción de espermatozoides se observó en el mes de diciembre.

La nutrición mineral requiere especial atención ya que se trata de nutrientes esenciales que participan en varias e importantes reacciones metabólicas; muchos de los minerales son cofactores enzimáticos o parte de la estructura química de las enzimas necesarias para mantener el equilibrio corporal y el metabolismo basal (Underwood y Suttle, 1999).

El contenido mineral en la dieta es esencial, aunque la medición individual de sus efectos es difícil debido a su interrelación con otros minerales, con otros nutrientes de la dieta y por la capacidad para absorberlos (Underwood, 1997). A menudo el ganado en pastoreo no recibe suplementación mineral, lo cual causa una baja producción y problemas reproductivos (McDowell y Arthington, 2005).

Los elementos o minerales traza son llamados así porque cantidades muy pequeñas son requeridas en la dieta y su medición en el organismo vivo es difícil. Sin embargo, biológicamente debido a sus múltiples funciones bioquímicas y fisiológicas son muy importantes. Los requerimientos de minerales traza para funciones reproductivas son muy pequeños, en relación a las necesidades para mantenimiento, crecimiento o producción de leche, de tal manera que los kilogramos de premezcla de minerales traza adicionada a la

dieta normalmente varía de 0.250 a 0.500 kg por tonelada de alimento. En general, los minerales traza son muy densos, y las materias primas como fuente de los minerales traza son altamente concentradas. Lo antes mencionado, ha ocasionado que a estos micro minerales se les de poca importancia dentro de todos los elementos involucrados en la producción animal, de forma específica en la nutrición y alimentación. Además, hay una alta variación de estos elementos en los alimentos, por lo tanto, no se recomienda incluirlos al momento de balancear las dietas para las especies pecuarias, porque hay una alta probabilidad de incurrir en deficiencias y desbalances minerales. Además, hay ingredientes que están muy desbalanceados en su contenido mineral o contienen sustancias antinutricionales que interfieren con la absorción de los minerales traza y por lo tanto con el funcionamiento normal del animal, como por ejemplo los granos de destilería, la canola, la yuca y algunos forrajes como *Leucaena leucocephala*.

En México se han diagnosticado carencias de minerales traza como selenio, zinc y cobre, entre otros, en rebaños ovinos (Díaz, 1993; Ramírez *et al.*, 2004; Domínguez y Huerta, 2008); sin embargo no se han establecido programas de suministro de minerales para corregir las deficiencias y evaluar la respuesta animal en términos de la respuesta productiva y reproductiva.

Hay escasa información actualizada y publicada sobre el efecto de los micro minerales en la fertilidad de sementales ovinos. Se ha demostrado que la suplementación con Se y Zn en humanos, así como su función intrínseca de ambos en la espermatogénesis y en el estado oxidativo sugieren una función importante del Se y Zn en la reproducción del macho ovino (Irvine, 1996; Vezima *et al.*, 1996). Algunos hombres sub fértiles han mostrado deficiencias de Se, lo cual estuvo asociado con una menor movilidad de los espermatozoides (Scott *et al.*, 1998). En los carneros el selenio suministrado en bolos de cristal soluble aumentó su concentración en sangre, con efectos positivos en la movilidad, en el porcentaje de espermatozoides vivos y en la repuesta a la integridad de la membrana de la célula espermática (Kendall *et al.*, 1999; 2001).

El aumento en la formación de oxígeno reactivo reduce la fertilidad debido a que este O_2 reactivo atacará a la membrana celular del espermatozoide reduciendo su viabilidad (Irvine, 1996). El aumento del nivel de Se en el organismo produce una mayor actividad antioxidante de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px), lo que disminuye la presencia del O_2 reactivo, favoreciendo una mayor fertilidad del macho (Irvine, 1996). La época reproductiva y la poligamia de los sementales ovinos significa que sus requerimientos nutricionales para producción de semen sean altos en un período de tiempo (época de empadre) relativamente corto; esto puede inducir deficiencias de Se en ciertas épocas, y causar una disminución en la producción y calidad del semen.

En un rebaño ovino, la eficiencia reproductiva se define como el número de corderos destetados por cada 100 ovejas gestantes/paridas. Para las evaluaciones, técnicas y financieras, conviene calcular los kilogramos de cordero destetado por oveja al año. Cuando se conocen los kilogramos de alimento consumido por la oveja durante el año y el de su cordero (s) hasta el destete, se puede saber la conversión alimenticia, la cual puede variar de 16.5 a 32.8 kg de alimento por kilogramo de cordero destetado Fletcher *et al.* (1985). Este rango de valores es muy alto en comparación con el alimento requerido para engordar un cordero destetado hasta el peso de mercado (4 a 6 kg de alimento/kg de peso ganado).

El objetivo fue evaluar la respuesta reproductiva, en términos de la calidad del semen, la concentración de selenio en suero sanguíneo, de la actividad de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) y variables hemáticas (hematocrito y hemoglobina), de sementales ovinos de las razas Suffolk y Hampshire durante el período de julio a febrero, al suministrar un bolo de cristal soluble de selenito de sodio en una unidad de producción ovina localizada en el valle de Toluca, Estado de México.

2. Revisión de literatura

2.1 Los minerales

El término “mineral” se refiere a elementos químicos inorgánicos, los cuales tienen la particularidad de no ser materiales inertes, ya que pueden cambiar su valencia y ser transferidos de un compuesto químico a otro; son participantes activos en las reacciones enzimáticas dentro del organismo, tienen especificidad funcional y son esenciales para la vida animal (Kincaid, 1993).

La expresión “elementos minerales esenciales”, se reserva para aquellos en los que se ha demostrado que realizan funciones metabólicas en el organismo (Giorgievskii *et al.*, 1982; McDonald *et al.*, 2001). Para que un elemento mineral sea considerado esencial, es necesario comprobar que las dietas en las que falta el elemento, provocan síntomas de deficiencia en los animales, y que dichos síntomas pueden curarse o prevenirse al incluir en la dieta experimental el elemento en cuestión.

Los minerales juegan un papel muy importante en la nutrición, aunque no proporcionen energía o proteína, son esenciales para su utilización y para la biosíntesis de nutrientes esenciales (Church y Pond, 1987). Todos los tejidos animales contienen elementos minerales o inorgánicos en cantidades y proporciones muy variables. Los trastornos nutricionales pueden resultar de cualquier deficiencia de nutrientes específicos tales como vitaminas y minerales, la presencia de toxinas, o de productos en estado anormal en la dieta (Underwood, 1997).

Los minerales están presentes en las células y tejidos del cuerpo animal en una gran variedad de funciones, combinaciones químicas y en determinadas concentraciones las cuales varían con el elemento y tejido en consideración. Por ello la concentración de elementos esenciales debe mantenerse dentro de los límites bastante estrechos o márgenes

normales, para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos y para mantener sin alteración el crecimiento, la salud y la productividad del animal (Underwood, 1981; Underwood y Suttle, 1999).

2.2 Clasificación de los minerales

La clasificación de los elementos minerales en los animales está basada en tres criterios (Giorgievskii *et al.*, 1982):

- 1) En su tropicidad, su localización va a depender de su afinidad por ciertos órganos y tejidos específicos.
- 2) Cuantitativo, por su concentración en el organismo.
- 3) Basado en su función biológica, por su significancia en funciones vitales.

La clasificación de los minerales esenciales en elementos mayoritarios o macro elementos y minerales traza o micro elementos (Miller, 1979; Underwood, 1981; Kincaid, 1993), depende de su concentración en los tejidos y fluidos de los animales o las cantidades necesarias en la dieta del animal.

La concentración de los micro minerales en el tejido animal es inferior a 100 ppm (Miller, 1979; Underwood, 1981) o a 50 mg kg⁻¹ (McDonald *et al.*, 2001) y son necesarios en cantidades inferiores a los 100 mg kg⁻¹ de la dieta (McDonald *et al.*, 2001); su concentración es expresada comúnmente en ppm y algunas veces como ppb (Miller, 1979; Underwood, 1981).

Son más de 20 los minerales esenciales, entre los macro nutrientes están (calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, cloro y azufre) y entre los micro minerales o elementos traza

(selenio, hierro, yodo, zinc, cobre, manganeso, cobalto, molibdeno y cromo); los elementos estaño, vanadio, flúor, silicio, níquel y arsénico, se consideran como probablemente esenciales (Underwood y Suttle, 1999).

2.2.1 Minerales traza

Los minerales traza, o micro elementos minerales, reconocidos como esenciales en dietas de animales pecuarios pequeños y grandes rumiantes, cuya concentración en la misma debe vigilarse para evitar deficiencias son: cobre, zinc, selenio, yodo, cobalto, manganeso, molibdeno y hierro (NRC, 2007). Sin embargo, todos los minerales esenciales pueden ocasionar problemas de salud e improductividad a los animales cuando exceden el nivel máximo tolerable (NRC, 2005). Además, los minerales no esenciales también pueden causar problemas al ganado pecuario cuando exceden cierta concentración en su dieta (NRC, 2005).

2.3. Selenio (Se)

2.3.1. Antecedentes

El Se es un elemento de la tabla periódica con número atómico 34; el cual fue descubierto por el químico sueco Berzelius. El Se y la vitamina E tienen mucha similitud respecto a sus efectos fisiológicos, por lo tanto esto ha dificultado la comprensión total de su función biológica en varios procesos del organismo.

El selenio fue conocido inicialmente por sus efectos tóxicos en caballos (1934), después se demostró su esencialidad en ratas (1957), particularmente para la síntesis de glutatión peroxidasa (1973) y en 1974 se permitió su inclusión en las dietas de los rumiantes (NRC, 1983).

Posterior a 1957, año en que Shwartz y Foltz demostraron que el Se prevenía la necrosis hepática en ratas deficientes en vitamina E, en 1973 se identificó la función del Se como reductor de la especie SeCys₂ presente en la enzima GSPx. Esta enzima es muy importante en los procesos de defensa antioxidante contra la lipoperoxidación, y, por lo tanto, su función se empalma con la de la vitamina E; sin embargo aún se siguen estudiando e identificando sus funciones fisiológicas y bioquímicas en el organismo. Recientemente se ha comprobado la estrecha relación entre el Se y los niveles adecuados de selenoproteínas y enzimas selenodependientes en varios órganos vitales, ya que el Se, además de ser un potente antioxidante, también es muy importante en el metabolismo tiroideo, en los procesos reproductivos y en la capacidad de respuesta inmune del organismo (Millán, 2012).

En Tlaxcala, México, se demostró que las altas tasas de mortalidad de corderos se podían corregir con un suplemento mineral que aportaba 0.2 ppm de Se en la dieta. Posteriormente, se encontró que el 66% de las muertes en algunos rebaños caprinos de Tlaxcala mostraron signos de distrofia muscular nutricional, y se confirmó que la deficiencia de selenio se manifiesta en suelo, forraje y suero de caprinos durante las épocas seca y lluviosa (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001).

El selenio existe naturalmente en varios estados de oxidación y algunas de estas formas químicas son inestables y volátiles. En la superficie terrestre se encuentra distribuido desigualmente, encontrándose regiones con muy bajos niveles y otras con muy altos, el uso de fertilizantes que contienen selenio es un ejemplo de la intervención humana en la distribución en el ambiente de este elemento (IPCS, 1987).

La concentración corporal de Se en el organismo es un reflejo de la cantidad ingerida; por ejemplo, observado que en humanos adultos de Nueva Zelanda la concentración de Se es de 3 a 6 mg, mientras que en Estados Unidos es de 15 mg debido a su mayor ingestión (Millán, 2012). El selenio se absorbe en el tubo gastrointestinal principalmente en el

duodeno y en menor proporción en el yeyuno e íleon (IPCS, 1987; Church, 1988). La absorción neta en rumiantes es de un 35%. El selenio es absorbido en contra del gradiente de concentración por lo que existe un consumo de energía. El selenio absorbido pasa a la sangre; en experimentos realizados se ha observado que éste puede ser detectado en la albúmina y también en las fracciones beta y gama de las globulinas. El transporte probablemente es efectuado por la fracción seleno albúmina (Georgievskii *et al.*, 1982).

La mayor parte del Se en los tejidos animales se encuentra en dos formas, la selenometionina (SeMet) y la selenocisteína (SeCys), ambos son complejos de Se con aminoácidos azufrados, en los que el elemento azufre ha sido sustituido por el Se. Se han identificado otras formas de incorporación de Se a las selenoproteínas, como la selenocisteína y la seleno metil selenocisteína. Los microorganismos del rumen pueden incorporar selenio en selenoaminoácidos, aunque el selenio se une más firmemente a la proteína microbiana cuando la fuente de selenio es selenometionina en lugar de selenito o selenato (Bock *et al.*, 1991; Rayman, 2004).

La selenometionina es un aminoácido esencial, por lo que no puede ser sintetizado por el organismo, y debe aportarse a través de la dieta; respecto a la selenocisteína, es la forma del Se con actividad biológica, pero no es un metabolito esencial para el organismo, este es sintetizado cuando hay Se disponible, y de esta forma es incorporado a las distintas selenoproteínas del organismo (Bock *et al.*, 1991).

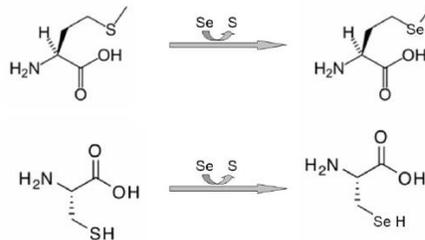


Figura 1. Síntesis de los aminoácidos selenometionina y selenocisteína en el organismo.

A un pH fisiológico la selenocisteína se encuentra en forma aniónica; esta particularidad le brinda capacidad para dar y recibir electrones por lo que su comportamiento es de un centro catalítico idóneo. Por lo tanto, la selenocisteína se comporta como un almacén corporal de Se, ya que se deposita aproximadamente el 80% de este micro mineral corporal en los residuos de proteína (Manzanares *et al.*, 2007).

2.3.2 Actividad e importancia biológica del selenio

2.3.2.1 Función como antioxidante

En la fisiología tanto humana como animal, a través del proceso metabólico normal llamado oxidación se degradan los carbohidratos, las grasas y la proteínas de los alimentos, lo cual producen dióxido de carbono, agua y energía. La energía producida en este proceso se utiliza en varias funciones corporales (trabajo, aumento de peso, producción de leche, formación de gametos, etc.). Sin embargo, la oxidación de los componentes de la estructura corporal (membranas celulares) y funcional (enzimas y sustancias intracelulares) es muy dañina (Uttam *et al.*, 2016).

El organismo posee un mecanismo de defensa para protegerse de los daños inducidos por la oxidación; esta protección es proporcionada por un mecanismo con actividad antioxidante. El agua se produce mediante el proceso de reducción de la molécula de oxígeno. El proceso de reducción secuencial de oxígeno a agua conduce a la formación de las siguientes sustancias reactivas: especies de oxígeno reactivas (reactive oxygen species, ROS) anión superóxido (es tanto ion como radical), peróxido (peróxido de hidrógeno, peróxidos orgánicos) y radical hidroxilo (el más reactivo de todos ellos). Además de los ROS, el desdoblamiento de las proteínas resulta en la formación de radicales libres de nitrógeno (NFR). Por ejemplo, el óxido nítrico (NO) es un NFR producido durante la reacción de transformación del aminoácido arginina y oxígeno para formar citrulina. El óxido nítrico y el producto de esta reacción con el anión superóxido O_2^- , llamado peroxinitrito (ONOO⁻), ambos pueden causar daño celular en dos formas diferentes. Ambos, los ROS y los NFR,

son poderosos agentes oxidantes. Si los ROS y los NFR no se destruyen, dañan las células vivas, notablemente sus proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (ADN). Los ácidos grasos insaturados, que son el componente principal de todas las membranas celulares, son particularmente susceptibles a estos compuestos. Su oxidación por los ROS da como resultado la formación de hidroperóxidos lipídicos (peróxidos orgánicos), que son muy dañinos (daño oxidativo). Las membranas, particularmente en riesgo de tal daño, incluyen, a las mitocondrias de las células de la sangre y tubo gastrointestinal (Behne y Kyriakopoulos, 2001).

La actividad biológica más importante del selenio es través de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) (Thompson, 2004), la cual en cooperación con la vitamina E y algunos otros agentes antioxidantes son capaces de reducir los efectos destructivos sobre las células vivas de reacciones peroxidativas. Los efectos antioxidantes del Se y la vitamina E son diferentes, pero no menos complementarios. La vitamina E previene la formación de peróxidos grasos por secuestro de radicales libres antes de que ellos inicien la peroxidación grasa. El Selenio, como parte esencial de la enzima GSH-Px, reduce los peróxidos ya formados para reducir los alcoholes reactivos; sin embargo, el porcentaje de Se total varía grandemente de un tejido a otro y de una especie animal a otra, así, por ejemplo, en eritrocitos humanos, únicamente el 10 % del Se está presente en la GSH-Px, comparado al 75 % en ovinos y 100 % en ratas (Persson-Moschos, 1995).

2.3.3. La enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px)

Varias de las selenoproteínas son enzimas antioxidantes que participan en mantener el equilibrio óxido reductivo de las células (Zeng *et al.*, 2013).

La familia de las enzimas GSH-Px (selenoproteínas) ayudan a prevenir la formación de ROS y NFR. Usan al glutatión como reductor, también catalizan la reducción del peróxido de hidrógeno (convertido en agua) e hidroperóxidos lipídicos (convertirlos en alcoholes

lipídicos), evitando así la oxidación dañina y asegurando la integridad de la membrana celular (Hoekstra, 1974; Wendel, 1980). Ya que el Se es un componente integral de las enzimas intracelulares, GSH-Px, un nivel adecuado de Se en el cuerpo del animal es esencial para un nivel adecuado de GSH-Px. En la deficiencia de Se, disminuciones marcadas en la actividad de la enzima GSH-Px, y otras enzimas dependientes del Se, contribuyen a disminuir las defensas contra el daño oxidativo (Burk, 1990).

La GSH-Px representa el 75% del selenio sanguíneo, está contenida en el interior de los glóbulos rojos a los que se incorpora durante la eritropoyesis (Hill *et al.*, 1992). El hecho de que exista una fuerte correlación entre el contenido de selenio sanguíneo y la GSH-Px (Stevens *et al.*, 1985; Wheatley y Beck, 1988), y que su determinación en sangre sea rápida y sencilla, hace que esta enzima se haya perfilado en la actualidad como una de las medidas indirectas más importantes en el diagnóstico de procesos carenciales de selenio (Wheatley y Beck, 1988; Mackintosh *et al.*, 1989).

La GSH-Px se reconoce generalmente por su función antioxidante. Hay, sin embargo, diferentes formas de esta enzima, las cuales funcionan en diferentes sitios (citoplasmática, plasmática, hidropéroxido fosfolípido, intestinal y pulmonar), cada una quizá con especificidad al sistema antioxidante necesitado según el sitio de que se trate. El hidropéroxido fosfolípido GSH-Px parece estar envuelto con actividad antioxidante a nivel de la membrana celular; mientras la GSH-Px citoplasmática se asocia con actividad antioxidante dentro del citoplasma celular. La distribución de los tipos GSH-Px difiere por tejido y por especie, consecuentemente los síntomas clínicos de deficiencia de las especies animales podrían reflejar diferentes distribuciones de los sistemas antioxidantes GSH-Px en estas especies (Persson-Moschos, 1995). Los autores Rotruck *et al.* (1973) descubrieron su función protectora contra el daño oxidativo al ser un componente de la enzima glutatión peroxidasa.

El selenio tiene interrelación con otros elementos; se ha observado que el azufre compite por los sitios de absorción con el selenio, tanto en plantas como en animales y reducen su disponibilidad. También existe una interrelación importante entre el selenio, la vitamina E y los aminoácidos que contienen azufre, en la prevención de algunas enfermedades de origen alimentario causadas por su deficiencia. La vitamina E impide la formación de ácido hidroxiperóxido graso, los aminoácidos que contienen azufre (como precursores de la GSH-Px) y el selenio interviene en la destrucción de peróxido, dichos nutrientes, producirán un resultado bioquímico similar, esto es, disminución de la concentración de peróxidos o de productos inducidos por éstos en los tejidos (Underwood, 1997).

En relación con la reproducción, el espermatozoide de los animales con deficiencia de selenio tiene pobre motilidad y con características de desarrollo anormal en la cola del espermatozoide. Algunos resultados han demostrado que la deficiencia de selenio no solamente precipitó este problema en verracos, sino que la célula deformada fue menos efectiva en la subsecuente fertilización del oocito ovulado (Mahan, 1995).

El selenio también se encuentra involucrado en la respuesta inmune de los animales. La inclusión de selenio en la dieta por aplicación parenteral tiene efectos en la producción animal, se ha observado incremento en la ganancia de peso de corderos, en la fertilidad de ovejas y en la respuesta inmune en general cuando se alcanzan niveles adecuados en tejido y fluidos del cuerpo (Shamberger, 1983).

2.3.4 Metabolismo del selenio

2.3.4.1 Digestión y absorción

La digestibilidad y absorción del Se en los rumiantes es muy baja, alrededor de 19 % en ovejas (Amerman y Miller, 1975). Esta baja digestibilidad se atribuye a que en el rumen el selenio se transforma a formas poco asimilables. Aunque la deficiencia ha sido señalada en todas las especies, los rumiantes parecen ser más sensibles al padecimiento y en particular

la situación parece ser más grave para los pequeños rumiantes, ovinos y caprinos (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2004). Esta mayor susceptibilidad de los rumiantes se atribuye al ambiente del retículo y rumen, que genera formas no solubles en particular seleniuros (Harrison *et al.*, 1984; Carbajal *et al.*, 2013).

Lo anterior explica la menor absorción de Se en rumiantes que en los animales monogástricos, 29-35 % en rumiantes y de 77 a 85 % en monogástricos, cuando es administrado como selenito por vía oral; el principal sitio de absorción del elemento es el duodeno (Sarabia-Martínez, 2004).

Cuando el Selenio se administra en forma de seleniato, se absorbe principalmente en el duodeno, entra al organismo y se reduce a selenito, uniéndose a las proteínas del plasma; así es llevado por la corriente sanguínea al hígado y al bazo, en donde es reducido a Selenio elemental, por la glucosa, que lo lleva a todos los tejidos excepto a los grasos. La pérdida ocurre por medio de los pulmones, orina y excremento, la eliminación es considerable y se ejecuta de manera relativamente rápida, a pesar de todo, cuando el consumo es alto, tiende a acumularse y causa lesiones en los tejidos (Villanueva, 2011; Carbajal *et al.*, 2013).

2.3.4.2 Excreción de Se

Se ha observado que las heces son la principal vía de excreción del selenio cuando este es suministrado vía oral (Church, 1988); pero si el selenio es administrado parenteralmente, la mayor parte de la dosis es excretada en la orina y en menor proporción con las heces; los rumiantes retienen de 20 a 25% del selenio suministrado (Georgievskii *et al.*, 1982; Church, 1988).

2.3.4.3 Mecanismo de acción en la intoxicación por selenio

Los mecanismos bioquímicos de una selenosis siguen siendo inciertos. Es probable que el selenio ejerza su efecto tóxico mediante inhibición enzimática de los sistemas de óxido-

reducción del organismo. Cuando el selenio se administra en forma de selenato, entra al organismo y se reduce a selenito; así es llevado por la corriente sanguínea al hígado y al bazo en donde es reducido a selenio elemental. El selenio elemental no es tóxico. Cuando el organismo no puede reducir el selenito por deficiencia de glucosa o exceso del mineral, se produce el ataque a las células destruyéndolas. El selenito inhibe, aparentemente, algunos sistemas enzimáticos tales como la succinato deshidrogenasa (Buck, 1981), se descarta una depresión en la formación de ATP en la selenosis crónica. Parece existir también una reducción importante del aminoácido metionina en el hígado, debido supuestamente a la oxidación de los grupos sulfhidrilo (Buck, 1981). El selenio ingerido por los animales pasa a la sangre, que lo lleva a todos los tejidos, excepto al tejido adiposo.

El Se puede actuar también como un pro oxidante (Hasanuzzaman *et al.*, 2010). La actividad pro-oxidante es el antónimo de la actividad antioxidante; el selenito de sodio, y algunos otros compuestos inorgánicos de Se, tales como, el dióxido de Se y las diselénidas tienen tal actividad para catalizar la oxidación de los tioles, tales como el glutatión, con una concomitante producción del superóxido y otras especies reactivas de oxígeno (Spallholz, 1997). Esta reacción catalítica del Se inorgánico con los tioles, probablemente explique la toxicidad del Se en las células de los principales órganos productores de glutatión, como es el caso del hígado (Spallholz, 1997).

La influencia pro oxidante del selenito de sodio en los animales pecuarios (Spallholz, 1997), es de particular interés, cuando se considera la vida útil de la leche, la carne y el huevo producidos (Mahan, 2001; Surai *et al.*, 2008). La propiedad pro oxidante del Se también puede aumentar la multiplicación de algunos virus patógenos.

2.3.5 Requerimientos de selenio

Los requerimientos dietarios de Se para diferentes clases de animales, según lo recomendado por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 1994; 1998; 2000; 2001;

2007; Lewis, 1995) se indican en el Cuadro 1. Se puede observar que en situaciones específicas, la exigencia puede ser superior a lo que se ha citado en el Cuadro 1. Por ejemplo, la oxidación de nutrientes para cubrir las necesidades de energía del organismo aumenta al realizar ejercicio, lo que aumenta la producción de ROS, incrementando de este modo, el Se necesario que requiere la GSH-Px para eliminar los ROS adicionales producidos (Lewis, 1995). De forma similar, una tasa mayor de ganancia de peso o de producción de leche, también aumentan el requisito de Se en la dieta, que se puede estimar utilizando las ecuaciones apropiadas (NRC, 2007). Sin embargo, aunque el cálculo de los requisitos de Se, en ecuaciones apropiadas para el rendimiento animal deseado, puede resultar ser mayor que lo presentado en el Cuadro 1, es importante cumplir con los reglamentos pertinentes de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, 1997; 2004; 2005), los cuales no permiten la suplementación de más de 0.3 mg de Se Kg⁻¹ de dieta completa (Uttam *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Concentraciones de Se recomendadas para varias dietas de animales pecuarios.

Animal	Requerimientos (mg de Se/kg dieta)
Bovinos productores de carne	0.10
Bovinos productores de leche	0.30
Ovinos	0.10-0.30
Cerdos en crecimiento	0.15-0.30
Cedras: gestación y lactación	0.15
Caballos	0.10
Gallinas de postura jóvenes	0.10-0.15
Gallinas de postura maduras	0.05-0.08
Pollos	0.15

(NRC, 1994; 1998; 2000; 2001; 2007; Lewis, 1995).

Los requerimientos de selenio para ovinos, según NRC (1985), eran de 0.05 a 0.1 mg/kg de MS de la dieta, pero en 2007 cambiaron a un rango de 0.1 a 0.3 mg/kg de la dieta (NRC, 2007) en función de la forma y nivel de producción.

2.3.6 Contenido de selenio en el organismo

El músculo esquelético es el tejido que contiene la mayor parte del Se del organismo, pero los órganos como el hígado y el riñón tienen la mayor concentración de Se, lo anterior es un indicador de la importancia de estos órganos en el metabolismo de este mineral. Los problemas relacionados con la deficiencia del selenio son difíciles de diagnosticar por lo que al parecer interfieren otros factores como la concentración de vitamina E, el nivel de hierro y los piensos enmohecidos (Combs y Combs, 1986).

El selenio es un elemento indispensable para el funcionamiento normal de los músculos, el corazón, el hígado, los riñones, el páncreas y quizás otros órganos. La enfermedad del músculo blanco en rumiantes se considera relacionada con la deficiencia de selenio. La hepatitis dietética y el síndrome de estrés porcino son enfermedades de los cerdos que están relacionadas con una deficiencia de selenio (Combs y Combs, 1986).

Se ha documentado muy bien que la deficiencia de Se conlleva a una gran variedad de problemas médicos, puede variar de una necrosis hepática a una reducción del sistema inmune (Georgievskii *et al.*, 1982). El selenio es importante fisiológicamente porque es un componente de la enzima glutatión peroxidasa (Diplock, 1981; Erkine, 1993) y por lo tanto, en el mantenimiento de la integridad de la célula en contra de radicales libres y peróxidos.

2.3.7. Desordenes reproductivos causados por la deficiencia de selenio

En general, en la deficiencia de selenio se afecta la reproducción de todas las especies pecuarias, tanto en machos como en hembras; las consecuencias reproductivas incluyen (Unserwood y Suttle, 2001):

- Aves de postura: decremento en la producción de huevos e incubabilidad.
- Cerdos: perjudica el desempeño reproductivo, porcentaje de concepción, tamaño de la camada y mortalidad de los lechones.

- Rumiantes: alta mortalidad embrionaria y retención placentaria; menor fertilidad, menor calidad del semen por menor movilidad.

2.3.8 Importancia del selenio en la reproducción de pequeños rumiantes: oveja y macho ovino

Las células y tejidos del organismo sufren ataques constantes de radicales libres, tales como, el hidrógeno (H), el ion superóxido de oxígeno (O₂), el hidroxilo (OH) o moléculas como el peróxido de hidrogeno (H₂O₂), formados como productos del metabolismo de los nutrientes para cubrir sus funciones de mantenimiento y producción; estos compuestos pueden afectar varios procesos asociados con el potencial reproductivo de la hembra ovina, entre los que destacan: la síntesis de esteroides por el ovario (Kamada y Ikumo, 1997), la maduración del ovocito (Agarwal *et al.*, 2005), la fertilidad (Agarwal y Allamaneni, 2004) y el desarrollo embrionario (Das *et al.*, 2006). Los autores Fraire-Cordero *et al.* (2013) sugieren que la administración de Se-Vitamina E más gonadotropina coriónica equina (eCG) pueden utilizarse como estrategia para la sincronización de estros y homogenizar su presentación en menos tiempo, sin reducir la eficiencia reproductiva de las ovejas Pelibuey. Como protección contra los anteriores eventos, el organismo tiene sistemas antioxidantes que evitan el daño causado por los radicales libres. La administración de antioxidantes como el Se y la vitamina E, pueden ayudar a mejorar la función reproductiva, ya que tienen una función complementaria en los sistemas antioxidantes (Gardiner y Reed, 1994).

El Se es un cofactor de la enzima glutatión peroxidasa que actúa en los compartimientos intracelulares y extracelulares, catalizando la destrucción de peróxidos (Rotruck *et al.*, 1973). Por su parte, la vitamina E mantiene la integridad de los fosfolípidos de la membrana celular protegiéndola contra el daño oxidativo y la peroxidación (Combs, 1998).

El feto cubre sus requerimientos de Se por vía transplacentaria, en cantidades variables según la condición de la oveja, pero en los rumiantes el paso del Se al feto ocurre aun cuando la madre tenga baja concentración en tejidos y fluidos y poca disponibilidad del

elemento (Abd *et al.*, 2007). Las observaciones realizadas en este sentido, sugieren que la hembra podría sacrificar su propia condición para mantener el transporte del elemento hacia el feto; en general, se observa una reducción de los niveles plasmáticos de Se materno, a medida que avanza la gestación, y el o los productos, aumentan de tamaño y peso (Abd *et al.*, 2007). En ovejas primíparas, la concentración fetal de Se declina ligeramente en el último tercio de gestación, del día 100 al 148, de 0.29 a 0.20 mg/kg MS (Grace *et al.*, 1986).

En ovinos adultos con deficiencia de Se se observa un pobre comportamiento reproductivo, el espermatozoides de los sementales ovinos con deficiencia de Se tiene poca motilidad; en las ovejas hay alta mortalidad embrionaria, partos prematuros, mortinatos y alta incidencia de retenciones placentarias. La enfermedad se caracteriza por presentar niveles bajos de Se y baja actividad de la enzima GSH-Px en sangre, así como altos niveles de la enzima transaminasa glutámico oxalacética (GOT), la cual, en condiciones normales, solo se encuentra dentro de las células, liberándose cuando hay daño tisular. Se ha demostrado que la infertilidad responde favorablemente al suministro de Se (McDowell, 1997). Está aceptado que la deficiencia de Se en ovinos afecta la eficiencia reproductiva del rebaño, con alta mortalidad de corderos (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2004), pero los efectos por deficiencia de Se en la reproducción caprina son discutibles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la aplicación de selenio más vitamina E a cabras de un rebaño con alta mortalidad de cabritos.

Variable	Tratamientos (Se+Vit.E)		
	0 + 0	0 2.5 mg + 34 UI	5 mg + 68 UI
Se, ng/mL de suero	21	27	42
Fertilidad, %	92	95	94
Prolificidad, %	107	101	105

Ramírez-Bribiesca *et al.* (2005).

Según los estudios de Hartley (1963) realizados en Nueva Zelanda para determinar el efecto del selenio en la reproducción, concluyó que:

- Disminuye la mortalidad embrionaria: 25.6% vs 3.5%
- Aumenta la prolificidad (8 experimentos): 1.23 vs 1.37 corderos/parto
- Disminuye las ovejas vacías en relación a las ovejas expuestas al semental: 22.8 a 6.4%
- La disminución de las ovejas vacías es un efecto del selenio y no de vitamina E o antioxidantes. De cualquier forma, el selenio tiene un alto impacto en la eficiencia reproductiva de los ovinos. Por ello, la formulación de dietas que permitan un estado adecuado del selenio en el animal es prioritario.

Los elementos azufre, arsénico, mercurio pueden interferir con la utilización del selenio:

- El azufre afecta la utilización del selenio disminuyendo la digestibilidad verdadera y la actividad de glutatión peroxidasa, posiblemente porque tiene un transportador intestinal común y por competencia para su incorporación a las selenoproteínas (Drewnoski *et al.*, 2014). Esta interferencia se ha demostrado con concentraciones relativamente bajas de azufre (0.2 a 0.6%). Algunas fuentes de azufre que deben vigilarse para controlar la interferencia son sulfatos en el agua de bebida y algunas sales aniónicas, granos de destilería, canola y suplementos minerales.
- El arsénico forma un complejo con glutatión y selenio en la sangre, que eventualmente se excreta en la orina (Gailer, 2007). El agua de bebida en algunas regiones contiene concentraciones elevadas de arsénico, como Altos de Jalisco (Hurtado-Jiménez y Gardea-Torresday, 2006) y La Laguna (Rosas *et al.*, 1999). En ambos casos, el nivel elevado de arsénico se manifiesta en sangre o leche (Rosas *et al.*, 1999; Torres, 2013).

- El mercurio forma un complejo con glutatión, selenio y selenoproteína P que permanece en sangre, pero el selenio es indisponible para las funciones esenciales (Gailer, 2007). Esto puede ocasionar que los niveles circulantes de Se sean adecuados, pero que el animal esté deficiente. Las fuentes de mercurio pueden ser el agua de bebida, la harina de pescado y algunas vacunas. Por estas interacciones, el requerimiento real de selenio para animales de algún rancho en particular se desconoce. Actualmente se tienen varias opciones para proveer selenio a los animales: selenio en forma orgánica e inorgánica, selenio oral o inyectable, diversas fuentes inorgánicas de selenio como selenito de sodio, selenato de potasio y selenato de bario, bolos de selenio. Trabajos previos han mostrado que la administración intraruminal de bolos de cristal soluble como método de suplementación con minerales como el selenio puede liberar este elemento de disponibilidad biológica para ovinos y bovinos (Kendall *et al.*, 1999; 2001). Algunos aspectos a considerar son:

- 1). La vida media del selenio en forma inorgánica en el animal es de 10 días (Conrad y Moxon, 1979).

- 2). El tiempo requerido para restaurar totalmente la actividad de glutatión peroxidasa en los glóbulos rojos es de 120 días (Zachara *et al.*, 1993).

- 3). La forma requerida por el animal para incorporar el selenio a las selenoproteínas es la inorgánica. Las formas orgánicas de selenio deben convertirse a inorgánicas.

- 4). La función del selenio como antioxidante es compartida con zinc, manganeso, cobre, vitamina E, hierro, vitamina A entre otros. Por ello, cuando alguno o varios de estos nutrimentos están deficientes, la necesidad de selenio se incrementa.

- 5). Los espermatozoides generan una cantidad elevada de oxidantes, así como el embrión y feto. Estos oxidantes ayudan a la función reproductiva, pero también pueden ocasionar daños severos. Por ello, se requiere un balance de todos los elementos.

6). El selenio es importante para transformar la tiroxina (T4) en la forma activa triyodotironina (T3), por lo cual una deficiencia de selenio puede provocar bocio. Debe considerarse que la concentración de selenio en el agua de bebida puede ser alta en algunas regiones. En 125 pozos de la región de los Altos Jalisco es de 45.1 $\mu\text{g/L}$ de agua (con un rango de 2 a 122 (Hurtado y Gardea, 2007). Asimismo, las dietas pueden contener niveles altos de selenio (0.66 a 1.90 mg Se/kg MS), en algunos casos debido a fuentes minerales contaminadas.

2.3.9 Se en suelo y agua

Los minerales que el animal consume provienen principalmente del alimento y de suplementos elaborados con ingredientes de origen geológico o industrial. El aporte mineral del agua puede o no contribuir significativamente a los requerimientos del animal mientras que la ingestión accidental o no del suelo, aporta cantidades apreciables de elementos minerales tales como Cu, Mn, Se, etc. (Underwood y Suttle, 2001).

El contenido de selenio en los suelos varía ampliamente, en consecuencia, esta alta variación se refleja en los pastos donde ellos crecen, lo cual depende, en gran medida, de su origen geológico y de las condiciones estacionales, observándose que el contenido de Se en el suelo es bajo en primavera y cuando llueve con intensidad; también el pH del suelo es otro factor que influye de forma importante en la disponibilidad del selenio para las plantas (Blood y Randostits, 1992). El total del selenio en el suelo no refleja una estrecha disponibilidad del elemento para la planta, por lo que los forrajes con menos de 0.1 ppm de selenio en base seca pueden provocar síntomas de deficiencia; si la concentración del elemento es menor a 0.0005 ppm, los animales pueden sufrir deficiencia de selenio y morir.

2.3.10 Selenio en forraje

Aunque el Se no está considerado como un elemento esencial en la nutrición de las plantas, el consumo de plantas y productos vegetales es la principal fuente de Se para los animales y los seres humanos, en ausencia de cualquier suplementación especial (Ihnat, 1989). El

nivel de Se en las plantas depende principalmente del contenido de Se soluble (contenido de Se disponible en la planta) del suelo.

Según Mortimer (1999), el contenido de Se en el forraje puede clasificarse como adecuado, marginalmente deficiente y deficiente cuando contiene aproximadamente 0.20, 0.10 a 0.19 y <0.10 mg de Se kg^{-1} de MS. La concentración máxima tolerable de Se en el forraje es de alrededor de 2 mg kg^{-1} MS (NRC, 1980), el cual fue, posteriormente, aumentado a 5 mg kg^{-1} MS (NRC, 2005).

En un estudio de Mortimer (1999) a nivel nacional, en 709 muestras, de 678 productores de 23 Estados (EE. UU.) participantes, entre ellos, 28 muestras del Estado de Georgia, los niveles de Se, en varios cultivos forrajeros, indican que aparentemente en las especies vegetales analizadas, alrededor de 44 a 96% de las muestras fueron marginalmente deficientes (0.10 a 0.19 mg de Se kg^{-1} de MS), o deficientes (<0.10 mg de Se kg^{-1} MS). Entre las especies de forraje, Alta fescue fue notablemente deficiente en Se; sólo el 4% de las muestras de A. fescue analizadas tenían niveles de Se adecuados para los animales. Muy pocas de las especies forrajeras tuvo niveles de Se superiores a la concentración máxima tolerable (5 ppm). Los resultados sugieren que prevalece más la preocupación por la deficiencia de Se que los problemas de toxicidad.

2.4. Aspectos reproductivos del semental ovino

En el carnero, la fertilidad es importante para determinar la proporción de hembras que van a concebir, ya que en ovinos, el éxito de un programa reproductivo depende de la fertilidad de la hembra así como de la del macho, el cual tiene que manifestar una buena actividad sexual y calidad seminal (Gordon, 1999). Estas características pueden verse afectadas por factores genéticos y ambientales (Vivanco, 1998). La evaluación del semen de carneros jóvenes, frecuentemente revela una densidad espermática pobre, así como anomalías morfológicas y es aceptado por muchos autores como índice de inmadurez (Thwaites y Hannan, 1989; Murray *et al.*, 1991; Martín *et al.*, 1994).

La nutrición es otro aspecto que influye de manera importante en el desarrollo testicular, el cual está correlacionado con la producción de espermatozoides (Langford *et al.*, 1989). En los carneros el nivel nutricional afecta el tamaño testicular de manera notable (Martín y Banchemo, 1999), ya que se afecta directamente el eje hipotálamo-pituitario en la liberación de GnRH, ocasionando una baja respuesta del testículo (Blache, 2003). Thwaites (1995), en sus investigaciones encontró que la desnutrición en los carneros causa una progresiva disminución del tono y volumen testicular. Además, también se menciona que la nutrición tiene un efecto negativo en la frecuencia de eyaculados, sobre el volumen seminal y calidad del semen, ocasionando un estado de agotamiento y desnutrición al ser sobre explotado en periodos cortos de tiempo y sometido a una alimentación pobre en nutrientes.

En los carneros de la raza Yankasa, la producción de espermatozoides se inicia en la pubertad, al principio se considera baja, pero a medida que aumenta la edad se mejora la cantidad y calidad (Osinowo *et al.*, 1988). En los corderos jóvenes es común observar una pobre calidad seminal (Thwaites y Hannan, 1989; Murray *et al.*, 1991; Martín *et al.*, 1994). La producción de semen en el carnero se inicia en la pubertad, pero se debe tomar en cuenta que el ovino es un animal estacional, en la mayoría de las razas, obteniéndose mejores eyaculados en los meses con menor horas luz (Martín y Banchemo, 1999). La libido del carnero se refiere al deseo de montar, mientras que la capacidad para dar servicio, se define como la habilidad para cubrir a una hembra, penetrarla y eyacular (Purvis y Hillard, 1997).

Los componentes motivacionales al momento del apareamiento son: cortejo, monta, desenvaine y copula, así como la inmediata reanudación en un período corto de tiempo (Price *et al.*, 1992). Los carneros que presentan una libido más intensa, sirven de estímulo a otros más jóvenes que se están entrenando para la recolección de semen. Para valorar la libido se han empleado diferentes parámetros como el tiempo de reacción, que es el lapso, en segundos, que transcurre desde la entrada a la sala de obtención del semen, hasta la eyaculación. Esta variable está relacionada negativamente con la motilidad y concentración

espermática, por lo que se ha considerado que los machos que tienen mayor respuesta sexual, son también los que tienen mayor calidad seminal por el aumento de testosterona plasmática. Otros parámetros son, la eficiencia para la cubrición, la jerarquía sexual y el estudio de agotamiento, este último consiste en dejar a los machos montar hasta que se agoten con 15 minutos de descanso entre monta y monta, y 10 minutos de estancia en la sala de obtención del semen, si el macho no hace intentos por montar durante este tiempo se saca de la sala y termina la prueba. Los machos que tienen una mejor respuesta son los que se consideran útiles en los programas de Inseminación Artificial (Pérez *et al.*, 1987).

La capacidad para producir semen y realizar la monta se mantiene durante todo el año, sin embargo, se presentan ciertas fluctuaciones en la capacidad reproductiva (Darveida y Brudeux, 1980; González *et al.*, 1992; Fuentes *et al.*, 1997). Lo anterior origina variaciones en la calidad seminal, mismas que son superiores en otoño e invierno, donde el tamaño de los testículos logra su máximo, mientras que el mínimo es durante la primavera y el verano, donde los testículos se tornan flácidos y pequeños. De este modo, en primavera y verano, el volumen y densidad del esperma disminuyen, además de que es posible observar espermatozoides anormales con una disminución en la viabilidad (Vivanco, 1998).

Los estudios sobre semen congelado indican que las células que sobreviven a los procesos de congelado y descongelado, sufren alteraciones estructurales de la membrana plasmática que afectan sus propiedades, similar a un estado de capacitación prematura y reacción acrosomal (Watson, 1995).

El acrosoma de la célula espermática es una estructura vesicular que contiene gran cantidad de enzimas líticas esenciales para su capacidad fertilizadora, por lo tanto, su integridad es indispensable para llevar a cabo la fecundación del óvulo (Valcárcel *et al.*, 1997). El acrosoma está en la parte anterior de la cabeza del espermatozoide, por lo que durante el proceso de enfriamiento y congelación puede perderse o desintegrarse esta estructura. En este sentido, es muy importante identificar y analizar las alteraciones que sufre el acrosoma durante el proceso de congelación y descongelación, usando las técnicas disponibles como

las de carácter enzimático o colorimétricas como la de triple tinción o el colorante de giemsa (Sukardi *et al.*, 1997).

2.5. Las razas ovinas Suffolk y Hampshire

2.5.1 Suffolk

Esta raza proviene de un cruce entre la antigua raza Norfolk y la Southdown, seguido de apareamientos consanguíneos, y su aptitud es eminentemente cárnica, utilizándose preferentemente para el cruzamiento industrial con otras razas y cruces. Se adapta especialmente para la producción de canales magras a una amplia variedad de pesos y edades, lo que combinado con la elevada velocidad de crecimiento de su progenie, la ha situado en un puesto destacado, siendo el macho terminal más utilizado en Inglaterra (Fernández, 1989).

2.5.2 Hampshire

Esta raza proviene del condado de Hampshire de Inglaterra, la cara, las orejas, las extremidades del Hampshire son de color marrón oscuro, cercano al negro; son acornes, es una raza de lana mediana, los carneros adultos llegan a pesar 102-136 Kg., y las ovejas 68-90 kg., poseen un excelente tipo para carne, aunque muchos ejemplares son pesados de paleta, esta raza es famosa por el rápido índice de crecimiento que tienen los corderos. Las ovejas son prolíficas y buenas lecheras (García, 1973).

3. Justificación

En el Valle de Toluca se han identificado carencias de selenio en suelos, forrajes, tejidos y fluidos de ovinos; además, no hay sementales probados reproductivamente; asimismo, los métodos de suplementación de selenio son complicados, costosos y riesgosos.

A nivel de unidad de producción ovina, solo se ha evaluado el efecto del suministro del selenio en el comportamiento productivo de ovinos en crecimiento, pero no su efecto en la reproducción de los sementales ovinos. Dada la esencialidad del selenio es importante evaluar su efecto en la calidad del semen.

Por todo lo anterior, es importante evaluar la respuesta reproductiva de los machos ovinos en términos de la calidad del semen fresco producido en cuanto a movilidad, porcentaje de espermatozoides vivos, muertos, normales y anormales, con suministro de Se a base de selenito de sodio suministrado en bolos comprimidos a sementales ovinos que permanezcan varios meses liberando el mineral.

En el Estado de México existe gran demanda de semen de ovino de buena calidad para ser usado en la inseminación artificial, ya sea fresco, refrigerado o congelado.

Una de las limitantes en la ovinocultura nacional es la disponibilidad, a costos accesibles, de sementales ovinos probados con alto potencial genético de razas especializadas en la producción de carne, además los métodos de suplementación de selenio pueden ser laboriosos y riesgosos, esto impulsa a buscar opciones para mejorar la calidad del semen en los rebaños del Estado de México.

En los últimos años se ha tenido un uso considerable de la técnica de inseminación artificial en el Estado de México, y además de una demanda muy marcada en razas como el Suffolk y el Hampshire.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de llevar a cabo la evaluación del comportamiento reproductivo de sementales ovinos de diferentes razas en una Unidad de Producción con y sin la suplementación de selenito de sodio.

Actualmente, los efectos que se conocen de la aplicación de selenio y vitamina E en la reproducción son muy variables.

4. Hipótesis

El suministro de selenio a través de bolos de cristal soluble de selenito de sodio a sementales ovinos de las razas Suffolk y Hampshire en una unidad de producción localizada en el Valle de Toluca, México, mejora las características cualitativas y cuantitativas del semen, así como la concentración de selenio en el suero sanguíneo, la actividad enzimática de la Glutación Peroxidasa (GSH-Px), y los valores de hematocrito y hemoglobina, antes y durante los meses que incluyen la época reproductiva.

5. Objetivos

5.1 General

Evaluar la respuesta reproductiva, a nivel de campo y de laboratorio, de dos razas de sementales ovinos complementados con y sin selenio, en una unidad de producción del Valle de Toluca, Estado de México, durante un ciclo reproductivo.

5.2 Particulares

Evaluar el efecto del Se en la calidad del semen fresco eyaculado en términos de su volumen, color, concentración y movilidad masal, porcentaje de células espermáticas vivas y muertas, y la morfología de los espermatozoides.

Evaluar la movilidad, concentración, espermatozoides vivos y muertos, y su morfología (células normales y anormales).

Evaluar las variables de cambio de peso vivo, circunferencia escrotal y condición corporal, asociadas al desempeño productivo y reproductivo de los sementales.

Evaluar en sangre la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa (GSH- Px).

Evaluar las concentraciones de selenio en suero sanguíneo.

Medir los valores del hematocrito y hemoglobina en los sementales a través de los meses del estudio.

6. Materiales y métodos

6.1 Localización

El estudio se realizó en una unidad de producción ovina del valle del Toluca, ubicada en el municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México. En esta unidad de producción ovina se realizó la fase de campo que consistió en la evaluación física y entrenamiento de los sementales para la extracción de semen con monta natural usando una oveja maniquí y una vagina artificial para la colección de las muestras de semen. Una vez extraído el semen fue conservado y transportado para su evaluación en los laboratorios de los Departamentos de Nutrición Animal y Biología de la Reproducción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEM ubicados en el Campus Universitario el Cerrillo, Toluca, México; las mediciones de la actividad de la enzima GSH-Px en sangre, así como las variables de hemoglobina y hematocrito, se realizaron en los laboratorios del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la FMVZ de la UAEM, Campus Universitario San Cayetano; y la concentración de selenio en suero se realizó en el laboratorio de bromatología del Departamento de Nutrición Animal de la misma institución.

6.2 Animales y manejo

Se usaron 18 sementales ovinos, con una edad promedio de 2.8 ± 0.3 años, de las razas Hampshire ($n=9$, $PV=80.6 \pm 7.6$ kg) y Suffolk ($n=9$, $PV=86.3 \pm 9.3$ kg), los cuales fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: G1= Sin Se ($n=10$, cinco sementales de cada raza) y G2= Con Se ($n=8$, cuatro de cada raza). En el primer día del período experimental el grupo con Se recibió, vía oral, un bolo de cristal soluble de selenio (peso=7.5 g, con 500 mg de selenito de sodio), elaborado en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México; el otro grupo no tratado actuó como control. El estudio tuvo una duración total de ocho meses, durante el período de julio de 2005 a febrero de 2006; la colección de muestras de semen se realizó durante los

meses de noviembre y diciembre de 2005 y enero de 2006, época en la cual prevalece un ambiente templado frío, a una altitud media de 2500 msnm de la zona del valle de Toluca, Estado de México.

Los sementales permanecieron durante el día en praderas de pasto nativo *Pennisetum clandestinum* "kikuyo", y por la noche, fueron confinados a una nave cerrada para protegerlos de las temperaturas bajas. Por la mañana, antes de salir a la pradera, recibieron un concentrado (en proporción de 1% del PV), con 14% de PC y 2.8 Mcal de EM por kg de MS), el cual contenía 2.5% de la MS de una premezcla de vitaminas y minerales, elaborada sin Se y sin vitamina E, que cubrió los requerimientos de los minerales de ovinos (NRC, 2007).

La prueba de libido se realizó en los sementales utilizados en el estudio mediante la observación en cuanto a buena disposición y capacidad de monta (Schumacher, 1979). Al finalizar el examen los carneros se clasificaron en potencialmente aptos para la reproducción, temporalmente no aptos determinado por factores físicos e incluso psicológicos y no aptos.

Semanalmente, previo a obtener cada eyaculado, se midió el peso corporal de los machos con una balanza electrónica y la condición corporal se evaluó de acuerdo con el método descrito por Russell (1991) y la circunferencia escrotal se midió con cinta métrica.

La colección de muestras de semen se hizo semanalmente, después de dar el bolo de Se, durante la época reproductiva (noviembre a enero) de todos los sementales por monta natural y desviación a una vagina artificial.

Los sementales fueron muestreados por punción de la vena yugular para evaluar las concentraciones de selenio en suero sanguíneo, así como la actividad de la enzima GSH-Px

en sangre en las semanas uno (antes de dar el bolo de Se), dos y tres de julio, y posteriormente cada mes durante el período de agosto a febrero.

6.3 Análisis de laboratorio

Los análisis para hematocrito y hemoglobina se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos por Coffin (1987).

El hemolizado de la muestra de sangre para determinar la actividad de la enzima glutatión peroxidasa se realizó según el método de Beutler (1971). Se tomaron 50 μ L de sangre total, las sustancias usadas fueron 50 μ L de saponina al 1%, 0.86 mL de agua destilada y 40 μ L de la solución preparada a base de 75 mg de cianuro de potasio y 75 mg de nitrato de sodio, disueltos en 1 mL de agua destilada. El hemolizado se conservó en refrigeración a 4°C hasta el momento de su análisis mediante espectrofotometría óptica a 340 nm. La preparación de las soluciones para la determinación de la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa fue de acuerdo al método de Blanchflower *et al.* (1986).

Para determinar el contenido de selenio en suero sanguíneo, las muestras sanguíneas se obtuvieron de la vena yugular y se depositaron en tubos al vacío sin anticoagulante, posteriormente se centrifugaron para obtener el suero sanguíneo y se congelaron a -20 °C hasta su análisis en el laboratorio. La determinación de Se se realizó por el método de espectrofluorometría de barrido (AOAC, 1975), en un equipo modelo LS 30 de la marca Perkin Elmer.

El semen se colectó mediante vagina artificial según la técnica descrita por (Evans y Maxwell, 1990) la cual consiste en llevar a los machos a la sala de recolección para acostumbrarlos al ambiente, introducir a una hembra en estro o estrogenizada y dejar que la cubran los machos, es importante que cuando se realice la monta se encuentren en el potro

de recolección y en presencia de un ayudante. Los sementales que montan con regularidad a las hembras maniquís, pueden acostumbrarse a eyacular en la vagina artificial.

Los eyaculados colectados en los tubos fueron valorados en términos del volumen (mL) y color (escala 1-5) (Evans y Maxwell, 1990; Barril *et al.*, 1993).

La movilidad masal (escala 1-5) se evaluó con apoyo de un microscopio de campo claro a 10X de acuerdo con lo descrito por los autores (Evans y Maxwell, 1990; Barril *et al.*, 1993).

La concentración ($\times 10^6$) de las células espermáticas se contabilizó en una cámara de Neubauer. Para evaluar la presencia de anomalías en la morfología espermática, se prepararon frotis de cada eyaculado, los cuales se secaron al aire y se tiñeron con eosina-nigrosina, posteriormente cada frotis se observó al microscopio con el lente a 40X. Se evaluaron 200 células por cada muestra de semen y las anomalías (total, cola enrollada, sin cola, dos colas, otras) de los espermatozoides se clasificaron según la técnica descrita por (Barril *et al.*, 1993 y Vijil *et al.*, 1986).

6.4 Suplementación de selenio

El selenio inorgánico (selenito de sodio) se proporcionó en bolos comprimidos, que permanecieron en rumen durante todo el período experimental, el peso promedio de cada bolo fue de 7.5 g, cada bolo contenía 500 mg de selenito de sodio, por lo que la dosis de selenio fue de 0.2 a 0.3 ppm.

Se suministró, a todos los sementales, un concentrado que incluyó 2.5% de una premezcla mineral sin selenio, y sin vitamina E, pero que cubrió el resto de los minerales según (NRC, 2007).

6.5 Análisis estadístico

Para el presente estudio se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2x3 de tratamientos [sementales con y sin Se (bolo de cristal soluble), razas (Hampshire y Suffolk) de los moruecos y meses de la época reproductiva (noviembre, diciembre y enero)]. Para el análisis estadístico de toda información recabada se utilizó el procedimiento MIXED con mediciones repetidas del programa SAS (2009); previamente, los valores obtenidos como porcentaje fueron procesados con la transformación arcoseno. En las variables donde hubo diferencia estadística ($P \leq 0.05$) se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias (Steel y Torrie, 1980).

7. Resultados y discusión

No se observó efecto de ninguna de las interacciones sobre las variables analizadas ($p > 0.05$). En los moruecos que recibieron el bolo con Se, la actividad de la enzima GSH-Px fue superior ($p \leq 0.05$); en tanto que los moruecos de la raza Suffolk tuvieron mayor PV ($p \leq 0.05$). El resto de las variables, circunferencia escrotal, condición corporal, hematocrito, hemoglobina y contenido sérico de Se, indicadas en el Cuadro 3, no fueron afectadas ($p > 0.05$) por el Se o la raza. Los valores de hematocrito, hemoglobina y contenido de Se fueron adecuados según Wheatley y Beck (1988) y Puls (1994). En contraste, la actividad de GSH-Px fue deficiente en ambas razas de moruecos con y sin bolo de cristal con Se dado que el valor normal de actividad para ovinos según Ceballos y Wittwer (1996) es del orden de $130 \text{ U g}^{-1} \text{ Hb}$. El bolo de cristal soluble de Se aumentó de forma consistente y sostenida, a través de los meses del estudio, la actividad de la enzima GSH-Px en los moruecos tratados; sin embargo, aunque la concentración de Se en suero fue adecuada para ambos grupos de machos con y sin Se, la actividad de la GSH-Px fue deficiente (Cuadro 3).

El PV, la circunferencia escrotal y la condición corporal de los sementales se mantuvieron con valores similares ($p > 0.05$) a lo largo del estudio (Cuadro 4); en contraste, los valores de hematocrito, hemoglobina, actividad de GSH-Px y contenido sérico de Se variaron ($p \leq 0.05$) a través de los meses que comprendió el estudio (Figura 2 y Cuadro 4). El valor del hematocrito fue menor en el muestreo inicial de julio y mayor en octubre, pero en todos los meses del estudio estuvo dentro del rango adecuado (29 a 38%) indicado para ovinos. El contenido de hemoglobina también estuvo dentro del rango adecuado (8 a 16 mg dL^{-1}) indicado por Puls (1994).

Cuadro 3. Efectos de un bolo de cristal soluble con selenio sobre el peso vivo, circunferencia escrotal, condición corporal, valores de hematocrito, hemoglobina, actividad de la glutatión peroxidasa y concentración de selenio en suero de moruecos Hampshire y Suffolk.

Variable	Selenio		Raza		EEM ¹	Efectos de ²	
	Control	Bolo c/Se	Hampshire	Suffolk		Se	Raza
Peso Vivo, kg	84.88 ^a	83.14 ^a	80.83 ^b	88.64 ^a	6.5362	ns	**
Circunferencia escrotal, cm	32.98 ^a	33.17 ^a	32.94 ^a	33.27 ^a	1.4597	ns	ns
Condición corporal, escala 1-5	3.66 ^a	3.68 ^a	3.72 ^a	3.60 ^a	0.2907	ns	ns
Hematocrito, %	33.85 ^a	35.92 ^a	33.54 ^a	35.21 ^a	4.0970	ns	ns
Hemoglobina ³ , mg dL ⁻¹	11.28 ^a	11.97 ^a	11.18 ^a	11.63 ^a	1.3060	ns	ns
Actividad de GSH-Px ³ (U g ⁻¹ Hb)	97.16 ^b	105.07 ^a	85.60 ^a	85.68 ^a	39.070	*	ns
Concentración Se ³ (µg mL ⁻¹)	0.10 ^a	0.16 ^a	0.15 ^a	0.16 ^a	0.0350	ns	ns

^{ab}Valores en una hilera, para el mismo factor, con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹EEM: error estándar de la media. ²NS: No significativo ($p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$).

³Valor normal: actividad de GSH-Px, deficiente <130 U g⁻¹ Hb (Ceballos y Wittwer, 1996); hematocrito, 29-38 %; hemoglobina, 8-16 g dL⁻¹; Se, adecuado=0.08-0.5, marginal=0.03-0.07, deficiente=0.006-0.03 µg mL⁻¹ (Wheatley y Beck, 1988; Puls, 1994).

La actividad enzimática de GSH-Px fue menor y muy baja en el muestreo inicial del mes de julio y el valor mayor se obtuvo en enero; sin embargo, según Ceballos y Wittwer (1996), aunque aumentó considerablemente post aplicación del bolo de cristal con Se, fue inadecuada en la mayoría de los meses, solamente en enero tuvo un valor superior a 130 U g⁻¹ Hb). Respecto al contenido de Se, su valor fue marginal en el muestreo inicial, antes de aplicar el bolo de cristal soluble con Se, en el resto de los meses aumentó de forma considerable y se mantuvo en el rango adecuado (0.08 a 0.5 µg mL⁻¹) indicado por Wheatley y Beck (1988), y Puls (1994) en suero sanguíneo de ovinos. Kendall *et al.* (2001) observaron efectos positivos en la concentración de Se en suero y actividad de la GSH-Px al aplicar Se en bolos solubles. Cabe destacar que la actividad enzimática de la GSH-Px de ambos grupos de moruecos estuvo por debajo de las 60 U g⁻¹ Hb en el muestreo basal de julio, así como en los moruecos del grupo control en los meses de septiembre y octubre (Figura 2). Como se muestra en la misma Figura 2, la actividad enzimática de GSH-Px fue mayor durante todo el período en el grupo de moruecos que recibió el bolo de cristal soluble con Se, sin embargo, solamente en el mes de enero, la actividad de GSH-Px fue mayor a 130 U g⁻¹ Hb. Kendall *et al.* (1997^{a,b}) indicaron concentraciones séricas de Se similares a las obtenidas en el presente estudio en corderos complementados con un bolo de cristal soluble con Se, Co y Zn, no obstante que su nivel de Se en suero fue adecuado, tanto en el grupo control como en el tratado; resultados como los encontrados en el presente estudio fueron observados de forma consistente con la aplicación de este tipo de bolos con Se, Co y Zn en ovinos (Kendall *et al.*, 1997^{a,b}), o con bolos de cristal soluble con Cu, Co, Zn y Se en moruecos (Kendall *et al.*, 1999; 2000); por lo tanto, la aplicación intraruminal

de bolos de cristal soluble, es un método adecuado, práctico, seguro y económico, para complementar y aumentar, de forma sostenida, los niveles de Se en moruecos ovinos a través del año con la finalidad de mejorar la calidad del semen en la época reproductiva.

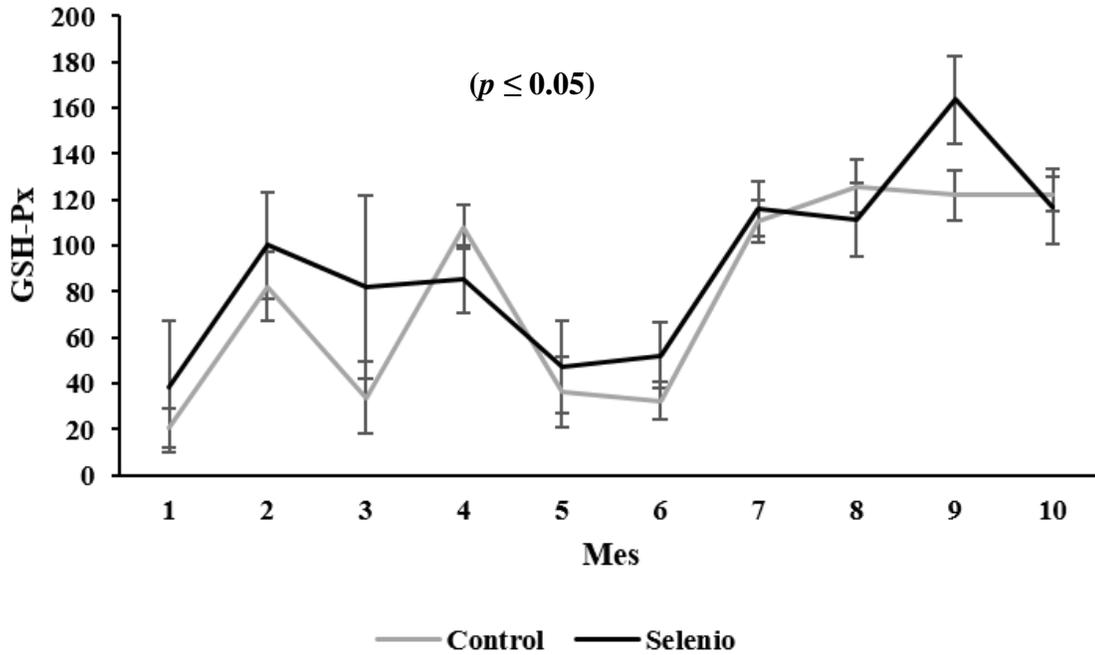


Figura 2. Actividad de la enzima GSH-Px ($U\ g^{-1}\ Hb$) en sangre de moruecos con y sin selenio durante el periodo experimental en una unidad de producción ovina del valle de Toluca, México.

Los periodos 1 al 3 corresponden a las semanas 1, 2 y 3 de julio, el resto (4-10) a los meses de agosto de 2005 a febrero de 2006.

Cuadro 4. Efecto del mes de muestreo, antes y después de suministrar un bolo de cristal soluble con selenio, en el cambio de PV, circunferencia escrotal, condición corporal, hematocrito, hemoglobina, actividad de GSH-Px y concentración de selenio de moruecos Hampshire y Suffolk.

Variable	Mes										EEM ¹
	Jul. S1 [‡]	Jul. S2 [‡]	Jul. S3 [‡]	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	
Peso Vivo, kg	83.3 ^a	84.2 ^a	84.5 ^a	85.1 ^a	85.0 ^a	84.2 ^a	83.1 ^a	85.6 ^a	83.2 ^a	79.0 ^a	2.9230
Circunferencia escrotal, cm	32.9 ^a	33.1 ^a	33.3 ^a	32.5 ^a	33.1 ^a	32.5 ^a	34.2 ^a	32.6 ^a	32.1 ^a	33.0 ^a	0.6528
Condición corporal, (escala 1-5)	3.4 ^a	3.4 ^a	3.5 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a	3.6 ^a	3.6 ^a	3.7 ^a	3.7 ^a	3.5 ^a	0.1299
Hematocrito, %	34.6 ^b	35.7 ^{ab}	31.7 ^b	33.4 ^b	35.4 ^{ab}	39.1 ^a	33.7 ^b	33.9 ^b	31.8 ^b	33.6 ^b	1.8325
Hemoglobina, g dL ⁻¹	11.5 ^{bc}	11.9 ^{ab}	10.5 ^{bc}	11.1 ^{bc}	11.8 ^{abc}	13.0 ^a	11.2 ^{bc}	11.1 ^{bc}	10.3 ^c	11.0 ^{bc}	0.5844
Actividad GSH-Px (U g ⁻¹ Hb)	30.1 ^d	91.7 ^{bc}	89.4 ^{bc}	96.1 ^{bc}	92.0 ^{bc}	93.0 ^{bc}	113.5 ^{ab}	118.1 ^{ab}	143.9 ^a	119.4 ^{ab}	17.471
Contenido de Se (µg mL ⁻¹)	0.04 ^d	0.09 ^d	0.11 ^d	0.13 ^{cd}	0.17 ^{ab}	0.18 ^a	0.16 ^{abc}	0.15 ^{bcd}	0.12 ^d	0.17 ^{ab}	0.0160

^{abcd}Valores en una hilera con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). ¹EEM: error estándar de la media.

[‡]Muestreos de sangre semanas 1, 2 y 3 en julio.

Respecto a la evaluación del semen (Cuadro 5); el análisis no mostró efecto de las interacciones de los factores sobre las variables estudiadas. El Se suministrado a los moruecos produjo mayor movilidad de los espermatozoides ($p \leq 0.05$), el Se también aumentó los espermatozoides vivos ($p \leq 0.05$) y normales ($p \leq 0.01$) en el semen; los moruecos Suffolk mostraron mejor calidad de semen en cuanto a volumen ($p \leq 0.01$), color ($p \leq 0.05$), densidad ($p \leq 0.01$) y concentración ($p \leq 0.05$); los eyaculados obtenidos en el mes de enero mostraron mayores valores en las variables de movilidad, densidad ($p \leq 0.01$) y una mayor ($p \leq 0.05$) concentración de células espermáticas.

El aumento en la movilidad, así como en los valores de espermatozoides vivos y normales, del eyaculado de los moruecos tratados con el bolo de cristal soluble con Se, probablemente se debe a la mayor actividad de la enzima GSH-Px en sangre, promovida por el Se suministrado a través del bolo; esto coincide con los hallazgos indicados por Kendall *et al.* (2000) en moruecos tratados con bolos de cristal soluble con Zn, Co y Se. El Se adicional, suministrado a través del bolo, aumentó el estado antioxidante como lo indicó la mayor actividad de la enzima GSH-Px, lo anterior proporciona una mayor protección contra la peroxidación lipídica espontánea, la cual causa que la membrana plasmática de la célula pierda su habilidad como una barrera con permeabilidad selectiva, en consecuencia, se pierden enzimas y sustratos citoplásmicos, por lo que disminuye la movilidad y sobrevivencia del espermatozoide (Álvarez y Storey, 1984; Zubair *et al.*, 2015). Los moruecos que recibieron el bolo tuvieron mejor calidad del semen, lo cual pudo deberse a que el Se suministrado estimuló la formación de selenoproteínas en el tejido testicular, y esto, a su vez, estimuló una mayor espermatogénesis (Ahsan *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Efectos de un bolo de cristal soluble de selenito de sodio sobre las características del eyaculado de moruecos Hampshire y Suffolk durante la época reproductiva (noviembre a enero).

Variable	Selenio		Raza		Mes			EEM ¹	Efectos de ²		
	Control	Bolo c/Se	Hampshire	Suffolk	Nov.	Dic.	Ene.		Se	Raza	Mes
Volumen (mL)	0.91 ^a	0.87 ^a	0.80 ^b	1.03 ^a	0.86 ^b	0.92 ^a	0.86 ^b	0.298	ns	**	ns
Color (escala 1-5)	2.89 ^a	2.98 ^a	2.88 ^b	3.02 ^a	2.83 ^a	2.96 ^a	3.02 ^a	0.416	ns	*	ns
Movilidad masal (escala 1-5)	3.20 ^b	3.47 ^a	3.20 ^a	3.40 ^a	3.04 ^b	3.33 ^b	3.69 ^a	0.723	*	ns	**
Densidad	3.07 ^a	2.98 ^a	2.98 ^b	3.37 ^a	2.88 ^b	3.10 ^b	3.68 ^a	0.687	ns	**	**
Concentración (millones/mL ⁻¹)	1,850 ^a	1,829 ^a	1,729 ^b	1,850 ^a	1,723 ^b	1,742 ^b	1,892 ^a	256.4	ns	*	*
Células vivas (%)	92.18 ^b	93.94 ^a	92.72 ^a	93.55 ^a	93.50 ^a	92.80 ^a	92.70 ^a	2.661	*	ns	ns
Células normales (%)	91.98 ^b	94.33 ^a	92.80 ^a	93.04 ^a	93.59 ^a	92.61 ^a	92.34 ^a	2.562	**	ns	ns

^{ab}Valores en la misma fila para el mismo factor con distinta literal son diferentes ($P \leq 0.05$).

¹EEM= error estándar de la media.

²NS= No significativo ($P > 0.05$; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$).

En el presente estudio los moruecos tratados con el bolo de cristal soluble con Se mostraron mayor movilidad espermática en el eyaculado; estos resultados coinciden con lo observado por Scott *et al.* (1998), quienes dieron complementación oral de Se a hombres cuya calidad del semen indicó que padecían una subfertilidad clínica. A nivel de campo, la mejora en las variables indicadas en el presente estudio puede influir favorablemente en la calidad del eyaculado y, por lo tanto, en la fertilidad del semen de los moruecos; sin embargo, en la especie ovina, esto deberá de ser confirmado mediante otros estudios, pero sobre todo, se requiere evaluar su capacidad fertilizadora en los rebaños en ambas épocas, reproductiva y estacional.

8. Conclusión general

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que la aplicación de bolos de cristal soluble con selenito de sodio incrementa la concentración de Se en suero y la actividad de la enzima GSH-Px de manera sostenida; además, mejora la movilidad y la viabilidad de los eyaculados de moruecos Hampshire y Suffolk. El efecto es mayor en el mes de enero, durante la época reproductiva. Los moruecos Suffolk, en el valle de Toluca, México, mostraron eyaculados de mayor calidad que los moruecos de la raza Hampshire.

9. Literatura citada

- Abd-Elghany, A.H., Revilla, V.A., López, A.R., Ramírez, B.E. and Tortora, P.J. 2007. The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goats. *Small Rum. Res.* 73:174-180.
- Agarwal, A. and Allamaneni, S. S. 2004. Role of free radicals in female reproductive diseases and assisted reproduction. *Reprod. Biomed.* 9: 338-347.
- Agarwal, A., Gupta, S., Sharma, R. K. 2005. Role of oxidative stress in female reproduction. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 3: 28-48.
- Ahsan, U., Z. Kamran, I. Raza, S. Ahmad, W. Babar, M. H. Riaz, and Z. Iqbal. 2014. Role of selenium in male reproduction-A review. *Anim. Reproduc. Sci.* 146: 55-62.
- Alvarez, J. G., and B. T. Storey. 1984. Assessment of cell damage caused by spontaneous lipid peroxidation in rabbit spermatozoa. *Biol. Reproduc.* 30: 323-331.
- Ammerman, C. B. and Miller, S. M. 1975. Selenium in ruminant nutrition: Review. *J. dairy Sci.* 58: 1561-1571.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. AOAC: International, USA. pp. 34-36.
- Baril, G., Chemineau, P., Cognie, Y., Guérin, Y., Leboeuf, B., Orgeur, P., et Vallet, J. C. 1993. *Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins*. Monnaie, France: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 111p.
- Behne, D., and Kyriakopoulos, A. 2001. Mammalian selenium containing proteins. *Ann. Rev. of Nutr.* 21: 453-473.
- Beutler, G. E. 1971. *Red Cell Metabolism: A Manual of Biochemical Methods*. 2nd Ed. Grune and Streaton, N.Y., USA. 160p.
- Blache, D. 2003. Balance de energía y producción en rumiantes: procesos endocrinos y neuroendocrinos. *Memorias del III Curso Internacional de Fisiología de la Reproducción en Rumiantes*. Montecillos. México.

- Blanchflower, W. J., Rice, D. C., and Davidson, W. B. 1986. Blood glutathione peroxidase. A method for measurement and the influence of storage, cyanide and Drabkin's reagent on enzyme activity. *Biolog. Trace Element Res.* 11: 89-100.
- Blood, D. C. y Radostits, O. M. 1992. *Medicina Veterinaria Vol. II Séptima Ed.* Mc Graw-Hill, México.
- Buck, B. and William, E. 1981. *Toxicología Veterinaria, Clínica y Diagnóstica.* 7 ed. Escribia. España. pp. 444-445.
- Burk, R. F. 1990. Protection against free radical injury by selenoenzymes. *Pharmacol. and Therapy.* 45: 383-385.
- Blache, D. 2003. Balance de energía y producción en rumiantes: procesos endocrinos y neuroendocrinos. *Memorias del III Curso Internacional de Fisiología de la Reproducción en Rumiantes.* Montecillos. México
- Blanchflower, W.J. Rice, D.C. and Davidson, W.B. 1986. Blood glutathione peroxidase. A method for measurement and the influence of storage, cyanide and Drabkin's reagent on enzyme activity. *Biological trace element research.* 11: 89-100.
- Beutler, G. 1971. *Red cell metabolism: A manual of Biochemical Methods* Grune and Streaton, USA.
- Blood, D.C. y Radostits, O.M. 1992. *Medicina Veterinaria Vol. II Septima Ed.* Mc Graw-Hill, México.
- Bock, A., Forchammer, K., Heider, J., Leinfelder, W., Sawers, G., Veprek, B. 1991. Selenocysteine: The 12st amino acid. *Mol. Microbiol.* 5: 515-520.
- Carbajal, H. M. A., Aquí, Q. G. y Díaz, G. C. 2013. Uso de selenio en ovinos. *Abanico Veterinario.* 3: 44-54.
- Ceballos, M. A. and Wittwer, F. G. 1996. Metabolismo del selenio en rumiantes. *Arch. Med. Vet.* 2: 5-18.
- Coombs, G.F. and Coombs, S.B. 1986. *The role of selenium Nutrición.*; New York: Academic Press, Inc. p4.
- Church, D.C. y Pond. 1987. *Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales.* Limusa. Noriega. México DF, p. 483.
- Church, C.D. 1988. *El rumiante, Fisiología Digestiva y Nutrición.* Acribia, España.

- Coffin, L. D. 1987. Laboratorio Clínico en Medicina Veterinaria. Ediciones Científicas la Prensa Medica Mexicana. pp: 125-162.
- Conrad, H. R. and A. L. Moxon. 1979. Transfer of dietary selenium to milk. *J. Dairy Sci.* 62:404.
- Darbeida, H. and Brudieux, R. 1980. Seasonal variation in plasma testosterone and dihydrotestosterone levels and in metabolic clearance rate of testosterone in rams in Algeria. *J. Reprod. Fert.* 59: 229-235.
- Das, S., Chattopadhyay, R., Ghosh, S., Goswami, S. K., Chakravarty, B. N., Chaudhury, K. 2006. Reactive oxygen species level in follicular fluid-embryo quality marker in IVF. *Hum. Reprod.* 21: 2403-2407.
- Díaz, Z.S. 1993. Determinación de la actividad de la glutación peroxidasa (GSH. PX) y niveles de selenio en sangre en ovinos, suelo y pasto de áreas de producción ovina en el municipio de San Felipe del Progreso, Méx. Tesis de Maestría Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Diplock, A.T. 1981. The role of vitamin E and selenium in the prevention of oxygen induced tissue damage. In J.E. Spallholze, J.L. Matin, and H.E. Gonther (Ed.). *Selenium in Biology and medicine* p. 303 AVI Publishing, Hartford, CT.
- Domínguez-Vara. I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Drewnoski, M. E., D. J. Pogge and S. L. Hansen. 2014. High-sulfur in beef cattle diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92: 3763-3780.
- Erkine, R.J. 1993. Nutrition and Mastitis in Kh Anderson (Ed) *The Veterinary clinics of Nort America; Food animal practice* p.551 W.B. Saunders, Philadelphia USA.
- Evans, G. and Maxwell, W.M.C. 1990. Inseminación artificial de ovejas y cabras. Ed. Acribia, España.
- FDA. US Food and Drug Administration. 1997. Food additives permitted in feed and drinking water of animals; selenium. *Federal Register.* (August 25). 62: 44892-44894.
- FDA. US Food and Drug Administration. 2004. Title 21. Food and Drugs: Food additives

- permitted in feed and drinking water of animals. Available online at http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/04nov20031500/edo.cket.access.gpo.gov/cfr_2001/aprqtr/pdf/21cfr573.920.pdf. Acceso en 10 de abril 2015.
- FDA. US Food and Drug Administration. 2005. CVM update, March 8, 2005. FDA permits the use of selenium yeast in sheep and goat feed. Available online at http://www.fda.gov/cvm/CVM_Updates/SEsheep.htm. Acceso. 10 de abril de 2015.
- Fernández, C. 1989. Ganado Ovino, producción y enfermedades, ediciones mundi prensa. Madrid, España.
- Fletcher, I.C., Gurawan, B., Hetzel, D.J.S., Barkie, B., Yates, N.G. and Chaniago, T.D. 1985. Comparison of lamb production from indigenous and exotic x indigenous ewes in Indonesia. *Trop. Anim. Health and Prod.* 17: 127-134.
- Fraire-Cordero, S., Pró-Martínez, A., Ramírez-Valverde, G., Sánchez-Del Real, C., Gallegos-Sánchez, J. 2013. Selenio y vitamina e en la fertilidad de ovejas pelibuey sincronizadas con progesterona. 29: 33-44.
- Fuentes, V., Sánchez, V., González, A., García, A. y Rosales, R. 1997. La función endocrina del testículo en el carnero criollo mexicano durante las diferentes épocas del año y su control opioidérgico durante el estro. *J. Vet. Med.* 44: 259-263.
- García, P. 1973. Producción Ovina M.E. Ensminger “El Ateneo”, Librería editorial e inmobiliaria.
- Gardiner, C.S. and Reed, D.J. 1994. Status of glutathione during oxidant induced oxidative stress in the preimplantation mouse embryo. *Biol. Reprod.* 581: 1307-1314.
- Gailer, J. 2007. Arsenic-selenium and mercury-selenium bonds in biology. A Review. *Coordination Chemistry Reviews* 251: 234-254.
- Georgievskii, U.I., Ahnenkov, B.N., Samokhin, V.T. 1982. Mineral Nutrition of Animals. Butterworths. United Soviet.
- González, A., Fuote, W.C., Murphy, B.D. and Ortega, E.1992. Seasonal variation in circulating testosterone and luteinizing hormone in Pelibuey lambs. *Small Rum. Res.* 52: 233-243.
- Gordon, I. 1999. Reproducción Controlada del Ganado Vacuno y Búfalos. Ed. Acribia, Zaragoza. España. pp.45.

- Grace, N.D., Watkinson, J.H., Martinson, P.L. 1986. Accumulation of minerals by the fetus (es) and conceptus of single and twine-bearing ewes. *Z. J. Agric. Res.* 29: 207.
- Harrison, J.H., Hancock, D.D., and Conrad, H.R. 1984. Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. *J Dairy Sci.* 67: 123-132.
- Hartley, W. J. 1963. Selenium and ewe fertility. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 23: 20-27.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., and Fujita, M. 2010. Selenium in higher plants: Physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *J. of Plant Sci.* 5: 354-375.
- Ihnat, M. 1989. Plants and agricultural materials. In: Ihnat, M. (Ed.). *Occurrence and Distribution of Selenium*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 33-107.
- Hill, F.I., T.K. Wyeth, and A.F. Death. 1992. Blood selenium concentrations and glutathione peroxidase levels of unsupplemented and supplemented alpacas in New Zealand. In: *Trace Elements: Roles, risks and remedies*. Proceedings of the New Zealand Trace Elements Group Conference, New Zealand. pp.135-140.
- Hoekstra, W. G. 1974. Biochemical role of selenium. In: W. G. Hoekstra, J. W. Suttie, H. E. Ganther and W. Mertz (Eds.). *Trace element metabolism in animals*, No. 2. University Park Press, Baltimore. pp.61-77.
- Hurtado-Jiménez, R., and J. L. Gardea-Torresdey. 2006. Arsenic in drinking water in the Los Altos de Jalisco región of Mexico. *Revista Panamericana de Salud Pública* 20(4): 236-247.
- Hurtado, J.R. y Gardea, J.T. 2007. Evaluación de la exposición a selenio en los Altos de Jalisco, México. *Salud Pública de México.* 49(4): 312-315.
- IPCS. 1987. *International Programmer on Chemical Safety Environmental Health Criteria* 58. Selenium World Health Organization. Geneva. United Soviet.
- Irvine, D. S. 1996. Glutation as a treatment for male infertility. *Rev. Reprod.* 1(6): 12.
- Kamada, H. and Ikumo, H. 1997. Effect of selenium on cultured bovine luteal cells. *Anim. Reprod. Sci.* 46: 203-211.
- Kendall, N. R., A. M. Mc Kenzie, and S. B. Telfer. 1997a. The use a soluble glass bolus to prevent zinc deficiency in sheep. *In: Fisher, P. W. F., M. R. Abbe, K. A. Cockell, and R.*

- S. Gibson (Eds.). Trace Element in Men and Animals-9: Proceeding on the Ninth International Symposium on Trace elements in Man and Animals. NRC Research Press, Ottawa, Canada. pp: 303-305.
- Kendall, N. R., A. M. Mc Kenzie, and S. B. Telfer. 1997b. Effect a soluble cobalt, selenium and zinc glass bolus on humoral immune response and trace elements status in lambs. In: Fisher, P. W. F., M. R. Abbe, K. A. Cockell, and R. S. Gibson (eds.). Trace element in men and animals-9: Proceeding on the ninth international symposium on trace elements in man and animals. NRC Research Press, Ottawa Canada. pp: 442-444.
- Kendall, N.R., Farrar, N.C., Illingworth, D.V., Jackson, D.W. and Telfer, S.B. 1999. The use of a soluble glass copper, cobalt and selenium bolus to supply selenium to sheep. *Proceedings of the British Society of Animal Science*. pp. 99.
- Kendall, N. R., S. McMullen, A. Green, and R. G. Rodway. 2000. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on trace element status and semen quality of ram lambs. *Anim. Reprod. Sci.* 62: 277-283.
- Kendall, N.R., Mackenzie, A.M. and Telfer, S.B. 2001. The effect of a copper, cobalt and selenium soluble glass bolus given to grazing sheep. *Livestock Production Science* 68: 31-39.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. *Anim. Sci.* 73: 163-169.
- Kincaid, R. 1993. Macroelementos para los rumiantes. El rumiante. *Fisiología digestiva y nutrición*. D.C. Church (Ed) Acribia. Zaragoza, España. pp. 373-390.
- Langford, A.G., Shrestha, B.N.J. and Marcus, J.G. 1989. Repeatability of scrotal and semen quality measurements in ram in short-day light regime. *Anim. Reprod. Sci.*19: 19-27.
- Lewis, L. D. 1995. *Equine clinical nutrition. Feeding and care*. 1st ed., Williams and Wilkins, Philadelphia, 587pp.
- Mahan, D. C. 1995. Selenium metabolism in animals: What role does selenium yeast have? In: T. P. Lyons and K. A. Jacques (eds.). *Biotechnology in the Feed Industry*, Nottingham U. Press, Nottingham, UK. pp. 257-267.

- Mahan, D. C. 2001. Selenium and Vitamin E in Swine Nutrition. In: A. J. Lewis and L. L. Southern (Eds.). Swine Nutrition, Second Edition, CRC Press, New York. Pp. 282-314.
- Manzanares, C. W. 2007. Selenium in critically ill patients with systemic inflammatory response. *Nutr. Hosp.* 22: 295-306.
- Martín, G. B., Tjondronegoro, S. and Blackberry, M. A. 1994. Effects of nutrition on testicular size and the concentration of gonadotrophins, testosterone and inhibin in plasma of mature male sheep. *J. Reprod. Fert.* 101:121-128.
- Martín, B.G. y Banchemo, H.G. 1999. Nutrición y Reproducción en rumiantes. *In: Memorias del 1^{er} Curso Internacional de Fisiología de la Reproducción de Rumiantes.* 8, 9 y 10 de Septiembre. Montecillos, México. pp. 27-58.
- Mc Donald, P., Edwards, R.A., Greenhalg, J.F.P. y Morgan, C.A. 2001. *Animal Nutrition.* 6ed. Prentice Hall. London, UK. pp. 108-145.
- McDowell, L.R., y Arthington, J.D. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida. IFAS. USA. pp. 6-47.
- Makintosh, C.G., J. Gill, and K. Turner. 1989. Selenium supplementation of young red deer (*Cervus elephus*), *N. Z. Vet. J.* 37: 143-145.
- Méndez, V.G., Aragón, M.A., Jaramillo, E.G., Ayala, M.E. y Domínguez-Vara, I.A. 2009. Función reproductiva en sementales ovinos importados de Nueva Zelanda durante su primera época reproductiva en México. *Veterinaria México.* 40: 123-131.
- Millán, A. E. 2012. Biomarcadores del estatus de selenio en paciente critic con syndrome de respuesta inflamatoria sistémica. Seguimiento durante 7 días de estancia en la unidad de cuidados intensivos. Tesis Doctoral. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos “José Mataix” Centro de Investigación Biomédica”. Departamento de Fisiología. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada, España. 407p.
- Miller, W.J. 1979. Copper and Zinc in Ruminant Nutrient. In: National Feeds Ingredients Association. B.O. Dell, E.K. Miller, and W.J. Miller, (Ed). P.72.
- Mortimer, R. G., Dargatz, D. A., and Corah, L. R. 1999. Forage Analyses from Cow-Calf Herds in 23 States. USDAAPHIS:VS, Centers for Epidemiology and Animal Health. Fort Collins, CO. #N303.499. April, 1999.

- Murray, P.J., Rowe, J.B. and Petrick, D.W. 1991. Effect of season and nutrition on scrotal circumference of Merino rams. *Aust. J. Exp. Agric.* 31:753-756.
- NRC. 1980. National Research Council. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Washinton, DC, USA. National Academic Sci.
- NRC. US National Research Council. 1983. Underutilized resources as animal feedstuffs. National Academies Press, Washington D. C.
- NRC. US National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry 9th revised edition. Subcommittee on Poultry Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council (USA), National Academies Press., Washington, D. C. 155pp.
- NRC. US National Research Council. 1998. Nutrient requirements of swine 10th revised edition. Subcommittee on Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council, National Research Council (USA), National Academies Press., Washington, D. C. 189pp.
- NRC. US National Research Council. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council (USA), National Academies Press., Washington, D. C. 248pp.
- NRC. US National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001. Subcommittee on dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council (USA), National Academies Press., Washington, D. C. 408pp.
- NRC. US National Research Council. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, National Research Council, National Academy of Science, National Academies Press, Washington, DC. 510pp.
- NRC. US National Research Council. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Committee on the Nutrient Requirements of Small Ruminants, National Research Council (USA), National Academies Press., Washington, D. C. 384pp.

- Osinowo, O.A., Ahmet, M.S. and Ekpe, G.A. 1998. Semen quality and sperm output of Yankasa rams at different ages. *Theriogenology*. 29: pp. 381-386.
- Pérez, G.T., Calderón, F., Cuellar, L., Vijil, E., Orden, M.A y Pérez, F. 1987. Parámetros reproductivos y correlación con la fertilidad de moruecos de raza manchega. *Zoo. Ovin*. 1: pp. 20-44.
- Persson-Moschos, M., Huang, W., Srikumar, T. S., Akesson, B., Lindeberg, S. 1995. Selenoprotein P in serum as a biochemical marker of selenium status. *Analyst*. 120: 833-836.
- Price, E.O., Erharh, H., Borgward, R. and Dally, M.R. 1992. Measures of libido and their relation to serving capacity in the ram. *J. Anim. Sci*. 70: pp. 3376-3380.
- Puls, R. 1994. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. Clarbrook, Canada. Pp: 83-109.
- Purvis, J.M. and Hillard, C. 1997. *Biología y genética de la reproducción*. 1era Ed. Sydney. Australia.
- Ramírez-Bribiesca, J. E., J. L. Tórtora, L. M. Hernández, and M. Huerta. 2001. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Ruminant Research* 41:77-80.
- Ramírez-Bribiesca, J. E., J. L. Tórtora, M. Huerta, L. M. Hernández, R. López, y M. M. Crosby. 2005. Effect of selenium-vitamin E injection in selenium-deficient dairy goats and kids on the Mexican plateau. *Arq. Bras. de Med. Vet. e Zoot*. 57(1): 77-84.
- Ramírez, B. E., C. E. Hernández, C. L. M. Hernández, y P. J. Tórtora. 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.
- Rayman, M. P. 2004. The use of high-selenium yeast to raise selenium status. How does it measured up?. *Br. J. Nutr*. 94: 557-573.
- Rosas, I., R. Belmont, A. Armienta and A. Baez. 1999. Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, México. *Water, Air, and Soil Pollution* 112: 133-149.
- Rotruck, J. T., Pope, A.L., Ganther, H. E., Swanson, A. B., Hafeman, D. G., Hoekstra, W. C. 1973. Selenium biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Sci*. 179:

588-590.

- Russel, A. 1991. Body condition scoring of sheep. In: E. Boden, editor. *Sheep and Goat Practice*, Philadelphia, USA: Bailliere Tindal. pp: 156-162.
- SAS. 2009. *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*, 2nd Ed. SAS Institute Inc, Cary, N. C., U.S.A.
- Sarabia-Martínez, M. 2004. *Desarrollo de un bolo intraruminal de liberación prolongada con Se orgánico de levaduras para bovinos productores de leche*. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Scott, R. A., MacPherson, R. W. S. Yates, B. Hussain, and J. Dixon. 1998. The effect of oral selenium supplementation on human sperm motility. *Brit. J of Urol.* 82: 76-80.
- Shamberger, R.J. 1983. *Biochemistry of selenium*. Plenum Press. USA.
- Schumacher, B.D. 1979. Increased lamb production with rams exposed to short day lengths during the non breeding season. *J. Anim. Sci.* 49:927-932.
- Spallholz, J. E. 1997. Free radical generation by selenium compounds and their prooxidant toxicity. *Biom. and Environ. Sci.* 10: 260-270.
- Sukardi, S., Curri, M.R. and Watson, P.F. 1997. Simultaneous detection of the acrosomal status and viability of incubated ram spermatozoa using fluorescent markers. *Anim. Reprod. Sci.* 46: pp. 89-96.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1980. *Bioestadística principios y procedimientos*. 2nd ed. New York USA Mc Graw-Hill.
- Stevens, J.B., W.G. Olson, B.S. Kraemer, and B.S. Archambeau. 1985. Serum selenium concentrations and glutathione peroxidase activities in cattle grazing forages of various selenium concentrations, *Vet. Res.* 46: 1556-1560.
- Surai, P. F., Fisinin, V. I., and Papazyan, T. T. 2008. Selenium deficiency in Europe: causes and consequences. In: P. F. Surai and J. A. Taylor-Pickard (Eds.). *Current advances in selenium research and applications*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp.13-44.
- Thompson, C. D. 2004. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status. A review. *Eur. J. Clin. Nutr.* 58: 391-402.

- Thwaites, G.J. and Hannan, G.D. 1989. The effects of frequency of ejaculation and under nutrition on the size and tone of the ram testes. *Anim. Reprod. Sci.* 19: 29-35.
- Thwaites, G.J. 1995. The comparative effects of under nutrition, exercise and frequency of ejaculation on the size and tone of the testes and on semen quality in the ram. *Anim. Reprod. Sci.*, 37: pp 299-309.
- Torres, L. M. E. 2013. Diagnóstico mineral de unidades de producción ovina en Tepatitlán, Jalisco. Tesis Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 49 p.
- Underwood, E.J. 1999. Trace Elements and their fisiological roles the animals. In D.J.D.
- Underwood, E.J. 1981. The mineral nutrition of Livestock. London, Commonwealth agriculture Bureaux.
- Underwood, E.J. 1997. Trace Elements in human and animal nutrition. New York, USA: Academic Press.
- Underwood, E.J. and Suttle, N.F. 1999. Mineral nutrition ok Livestock. Uk, CABI publishing.
- Uttam, S., Abioye, F., Hancock, D, and Sonon, L. 2016. Selenium in Animal Nutrition: Deficiencies in soils and forages, requirements, supplementation and toxicity. *Int. J. of App. Agric. Sci.* 2: 112-125.
- Varcárcel, A., De las Haras, M. A., Pérez, L. Moses, D. and Baldassarre, H. 1997. Assesment of the acrosomal status of membrane-intact ram spermatozoa after freezing and thawing, by simultaneous lectin/Hoechst 33258 staining. *Anim. Reprod. Sci.* 45: 299-309.
- Vijil, E., C. Gonzalo, J. Ruiz-Poveda, y C. Ciudad. 1986. Entrenamiento del morueco; 1986, septiembre (sin datos de días); Palencia, España: Actas de las Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia.
- Villanueva, C. G. J. 2011. Nutrición del ganado: Selenio.Premezclas Minerales, Zapopan, Jalisco, México.
- Vivanco, M.W.H. 1998. Inseminación artificial en ovinos. Memorias Seminario Internacional “Aplicaciones de Técnicas Biotecnológicas en la Reproducción de Ovinos y Caprinos, Chapingo, México, pp. 161-178.

- Vezina, D., F. Mauffette, K. D. Robert, and G. Bleau. 1996. Selenium vitamin E supplementation in infertile men effect on semen parameters and micronutrient levels and distribution. *Biol. Trace Element Res.* 53: 55-83.
- Watson, F.P. 1995. Recent developments and concepts in the cryopreservation of spermatozoa and the assessment of their post-thawing function. *Reprod. Fertil. Dev.* 7: 871-891.
- Wendel, A. 1980. Glutathione peroxidase. In: Jakoby, W. B. (Ed.). *Enzymatic basis of detoxification*, vol. 1. Academic Press, New York, NY. pp. 333-353.
- Wheatley, L. E., and N. F. G. Beck. 1988. The influence of season and husbandry on the selenium status of sheep in a deficient area. *Brit. Etol. J.* 144: 246-251.
- Zachara, B. A. U. Trafikowska, H. Labedzka, and J. Mikolajczak. 1993. Effect of dietary Se intake on blood Se levels and glutathione peroxidase activities in lambs. *Small Ruminant Research* 9(4): 331-340.
- Zeng, H., Cao, J. J., and Combs Jr., G. F. 2013. Selenium in Bone Health: Roles in antioxidant protection and cell proliferation. *Nutrients* 5: 97-110.
- Zubair, M., M. Ali, M. Ahmad, S. M. Sajid, I. Ahmad, and S. T. Gul. 2015. Effect of selenium and vitamin E on cryopreservation of semen and reproductive performance of animals (a review). *J. of Entomol. and Zool. Studies.* 3: 82-86.

10. Anexos

Anexo 1. Manuscrito científico con clave de registro (carta de recepción de la revista Agrociencia)





Editorial del Colegio de Postgraduados
Revista Agrociencia

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

CARTA DE RECEPCIÓN

10 de marzo de 2017

DR. IGNACIO A. DOMÍNGUEZ VARA
Igy92@hotmail.com

Le comunico haber recibido la siguiente contribución para iniciar el proceso editorial en la revista AGROCIENCIA.

Título: **EFFECTO DE UN BOLO DE CRISTAL CON SELENIO EN LA ACTIVIDAD DE GSX-PX, LA CONCENTRACIÓN DE SELENIO Y LA CALIDAD SEMINAL DE MORUECOS.**

Autores: Oscar **Carrillo-Nieto**, Ignacio A. **Domínguez-Vara**, Maximino **Huerta-Bravo**, Gerardo **Jaramillo-Escutia**, Soledad **Díaz-Zarco**, José F. **Vázquez-Armijo**, Nazario **Pescador-Salas**.

Su contribución ha sido formalmente recibida, asignándole la clave: **17-006**. Copias de la misma serán enviadas a dos árbitros y a un editor, quienes evaluarán su contenido. Oportunamente se le comunicará los dictámenes respectivos.

Asimismo, le agradeceré que en toda correspondencia: a) Indique la clave asignada; b) notifique cualquier cambio de domicilio por correo electrónico.

Le recuerdo que como **autor responsable**, usted debe recabar las autorizaciones de los coautores (de haberlos) de que están conformes con el contenido de cada una de las versiones requeridas durante el proceso editorial y mantenerlos informados oportunamente de los avances respectivos. Es decir, **el suscrito sólo extenderá constancias a usted** por lo que le agradeceré que, de requerirse, sea el conducto para hacerle llegar copias a los interesados.

Finalmente le anticipo que, en caso de ser aprobada para publicación, su contribución deberá ser traducida al idioma inglés. Para tal efecto la dirección de Agrociencia ha seleccionado un grupo de traductoras que han probado su competencia en esa tarea. La traducción será asignada por el suscrito a una de ellas, en el entendido de que el pago que se convenga será hecho directamente por el autor responsable a la traductora. Ninguna persona de la oficina de Agrociencia actuará como intermediaria en los aspectos financieros involucrados.

DR. SERGIO S. GONZÁLEZ MUÑOZ
DIRECTOR DE AGROCIENCIA

SSGM/yfm

· Oficina Central, Guerrero #9, Esquina Avenida Hidalgo ·
· 56251, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México ·
· 01 (595) 9284427- 01(595) 9284013 ·

· Colegio de Postgraduados · Campus Montecillo · Estadística ·
· Carretera México-Texcoco, Km. 36.5, 56230, Montecillo ·
· Texcoco, Estado de México ·

· Apartado Postal 199, 56100, Texcoco ·
· Apartado Postal 56, 56230, Chapingo ·
· editorialcp@colpos.mx ·

EFECTO DE UN BOLO DE CRISTAL CON SELENIO EN ACTIVIDAD DE GSX-PX, CONCENTRACIÓN DE SELENIO Y CALIDAD SEMINAL DE MORUECOS

Oscar **Carrillo-Nieto**¹, Ignacio A. **Domínguez-Vara**^{1*}, Maximino **Huerta-Bravo**²,
Gerardo **Jaramillo-Escutia**¹, Soledad **Díaz-Zarco**¹, José F. **Vázquez-Armijo**³, Nazario
Pescador-Salas¹,

*Autor responsable de la contribución: igy92@hotmail.com

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. ²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. ³Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México.

RESUMEN

En México se han diagnosticado deficiencias de minerales traza en ovinos, pero no se han establecido estrategias para corregirlas y evaluar su respuesta. El objetivo del estudio fue evaluar, en moruecos (9 Hampshire PV 80.6 ± 7.6 kg y 9 Suffolk PV 86.3 ± 9.3 kg), el efecto de un bolo de cristal soluble con selenito de sodio, sobre el PV, circunferencia escrotal, condición corporal, variables hemáticas, actividad de glutatión peroxidasa, concentración de selenio y características del eyaculado. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2x2x3 de tratamientos: 1) con y sin Se (bolo de cristal soluble), 2) razas (Hampshire y Suffolk) y 3) meses de la época reproductiva (noviembre, diciembre y enero). Los datos se analizaron con el procedimiento MIXTO de

SAS y la prueba de Tukey para comparar las medias ($p \leq 0.05$). El estudio se realizó de julio del año 2005 a febrero de 2006. Las muestras de sangre se obtuvieron en las semanas uno (previo al tratamiento), dos y tres de julio de 2005, y después en la cuarta semana de cada mes (de agosto de 2005 a febrero de 2006). De noviembre de 2005 a enero de 2006, mediante vagina artificial, semanalmente se evaluó el eyaculado de los moruecos. Los moruecos pastaron, durante el día, praderas de *Pennisetum clandestinum*, con confinamiento nocturno. Diariamente (08:00 h) previo al pastoreo, recibieron un concentrado (1 % PV). El Se aumentó ($p \leq 0.05$) la actividad de GSH-Px, la movilidad y los espermatozoides vivos y normales. La calidad del eyaculado fue mayor ($p \leq 0.05$) en volumen, densidad, concentración y viabilidad para la raza Suffolk. En conclusión, los bolos con Se aumentaron la actividad de GSH-Px, la movilidad y viabilidad del semen de moruecos Hampshire y Suffolk en la época reproductiva.

Palabras clave: Moruecos, selenio, cristal soluble, semen, glutatión peroxidasa.

INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un elemento mineral traza con actividad antioxidante que, en conjunto con la vitamina E, realiza funciones esenciales para prevenir daños celulares (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011). En cabras lecheras la deficiencia de Se o vitamina E reduce la respuesta inmune (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2005). La función principal del Se en el organismo es como componente de varias enzimas (Silva *et al.*, 2000) llamadas selenoproteínas (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011). La enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px) contiene Se en su estructura química y una de sus funciones es evitar la formación de radicales libres previniendo así el daño por oxidación tisular (Holben y Smith, 1999). Hay

una selenoproteína con funciones protectoras relevantes en la cápsula mitocondrial del espermatozoide (Ahsan *et al.*, 2014). El espermatozoide de verracos con deficiencia de Se tiene capacidad fecundante pobre debido a su movilidad limitada, asociada a espermatozoides con desarrollo anormal de su flagelo (Ahsan *et al.*, 2014). La inclusión de Se en la dieta, o por aplicación parenteral, mejora la ganancia de peso de los corderos, la fertilidad de las ovejas y la respuesta inmune de ambos (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011); lo anterior está condicionado a lograr las concentraciones requeridas de Se en tejidos y fluidos del cuerpo (Shamberger, 1983). El suministro de bolos de cristal soluble, conteniendo Se, aumenta la concentración de Se en sangre, la movilidad espermática, los espermatozoides vivos y la repuesta a la integridad de la membrana de la célula espermática (Kendall *et al.*, 2000). El suministro de Se y Zn en humanos ha mostrado una función intrínseca de ambos, en la espermatogénesis y estado oxidativo general, por lo cual se sugiere que estos microminerales tienen una función importante en la reproducción del macho ovino (Irvine, 1996; Vezima *et al.*, 1996; Oguntibeju *et al.*, 2009). En hombres subfértiles, diagnosticados con deficiencia de Se, hay una calidad seminal pobre asociada a una movilidad menor de los espermatozoides (Scott *et al.*, 1998).

La deficiencia de Se afecta la producción y salud de los rebaños ovinos, puede causar mortalidad alta de corderos, reducir la ganancia de peso de ovinos en crecimiento y ocasionar problemas reproductivos como retención de placenta de las ovejas y menor calidad del eyaculado en los sementales (Andrews *et al.*, 1975; Allen *et al.*, 1986; Kendal *et al.*, 2000). En el centro de México se han diagnosticado desbalances de microminerales con deficiencias graves de I, Se, Zn y 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). Según Montes de Oca *et al.* (2003) y Ramírez *et al.* (2004) hay carencia de Se en los rebaños ovinos del valle de Toluca, Tlaxcala y Puebla, México; la carencia de Cu se asocia al bajo contenido en el suelo y los forrajes, aumentado por la acidez del suelo y un exceso de Fe en los forrajes y el suelo donde estos crecen, lo cual afecta su absorción y contenido en ovinos (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008). Los problemas de bocio en ovinos están relacionados con una deficiencia natural de I, la cual probablemente involucre la carencia de Se y la presencia de disruptores endócrinos (Montes de Oca *et al.*, 2003). Por lo tanto, estos desequilibrios minerales se consideran factores que afectan la salud, el crecimiento y la reproducción en rumiantes (Minson, 1990).

Durante la época reproductiva, la poligamia de los moruecos aumenta sus requerimientos nutricionales para la producción de semen en un período de tiempo relativamente corto (empadre), esto puede inducir a deficiencias de Se en ciertas épocas, y causar una menor producción y calidad del semen (Ahsan *et al.*, 2014; Zubair *et al.*, 2015). En rumiantes pequeños, el suministro de Se para complementar el aporte de los forrajes, incluye adicionar premezclas al alimento, aplicación subcutánea u oral en solución y el uso de bolos o comprimidos de Se intraruminales; este último método permite complementar el Se de forma práctica, segura y efectiva, de tres a cuatro años, y a un costo bajo, a ovejas en pastoreo cuyo forraje es deficiente en Se (Andrews *et al.*, 1975; Wilkins y Hamilton, 1980; Donald *et al.*, 1993; Langlands *et al.*, 1994, Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2004; Revilla-Vázquez *et al.*, 2008).

El objetivo del estudio fue evaluar los efectos del suministro de un bolo de cristal soluble con selenito de sodio, en moruecos Hampshire y Suffolk sobre variables hemáticas, actividad de la enzima glutatión peroxidasa, concentración de Se en suero sanguíneo y características del eyaculado durante la época reproductiva; para lo cual se planteó la hipótesis que el Se suministrado a través del bolo de cristal soluble aumenta su concentración en sangre y la actividad de la enzima GSH-Px, y de esta forma, mejora la calidad del semen durante la época reproductiva de los moruecos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y período experimental de muestreo

El estudio se realizó en una unidad de producción (UP) ovina situada en la localidad de Mayorazgo de León, municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México entre 19° 14' y 19° 34' N, 99° 42' y 99° 58' a 2500 m de altitud. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, humedad mayor (86.59 %); semifrío subhúmedo, menor humedad (13.41 %), con temperaturas entre 15 y 22 °C y 6 y 14 °C, respectivamente, y precipitación pluvial anual de 700 a 1500 mm (INEGI, 2009). La UP es de tipo semi intensivo, con pastoreo diurno (09:00 a 17:00 h) y confinamiento nocturno con suministro de un suplemento alimenticio estratégico en el empadre y lactación; cuenta con una superficie de 10 has. de terreno, con cerca fija, una nave con tres corrales equipados con bebedero de pileta y comedero manual, donde se alojan 250 ovejas y 20 machos adultos, de los cuales se usaron 18 en el estudio.

Los análisis de laboratorio se realizaron en los Departamentos de Nutrición Animal y de Reproducción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad

Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo, Toluca, México. El estudio inició en el mes de julio de 2005 y terminó en febrero de 2006.

Animales y alimentación

En el estudio se usaron 18 moruecos adultos (edad promedio 2.8 ± 0.3 años) Hampshire (n = 9, PV = 80.6 ± 7.6 kg) y Suffolk (n = 9, PV = 86.3 ± 9.3 kg). Hubo dos grupos: 1) Sin Se (n = 10, cinco moruecos de cada raza) y 2) tratado con Se (n = 8, cuatro moruecos de cada raza). El grupo con Se recibió vía oral un bolo de cristal soluble (7.5. g) de selenito de sodio (500 mg), elaborado en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, FESC-UNAM[®]) (Revilla-Vázquez *et al.*, 2008). Los moruecos permanecieron durante el día pastando praderas de forraje nativo (*Pennisetum clandestinum*), y por la tarde y noche fueron confinados durante 16 h. Cada día, a las 08:00, antes de salir a la pradera, se proporcionó a los moruecos un alimento balanceado (al 1 % del PV) con 14 % PC y 11.72 MJ de EM kg⁻¹ de MS. Este alimento incluyó una premezcla de vitaminas y minerales elaborada sin Se y sin vitamina E, para cubrir los requerimientos de los otros minerales esenciales recomendados para ovinos (NRC, 2007).

Desarrollo experimental

Las muestras sanguíneas se obtuvieron por punción de la vena yugular durante los ocho meses del estudio. Una muestra inicial se recolectó una semana antes de proporcionar el bolo de cristal soluble con el selenito de sodio; después se recolectaron muestras de sangre en las dos semanas subsecuentes, y una muestra sanguínea se recolectó en la última semana de cada mes durante el resto del periodo experimental. La recolección y evaluación del semen se realizó durante la época reproductiva de los ovinos, estos es noviembre,

diciembre y enero. Desde julio de 2005 a febrero de 2006 cada semana se obtuvo una muestra de semen de cada morueco, entre las 09:00 y 10:00 h, usando una hembra inmovilizada y una vagina artificial. El semen fue recolectado en tubos estériles de polipropileno graduados, atemperados a 37 °C. Antes de obtener cada eyaculado, se midió el peso corporal de los machos con una balanza electrónica, la condición corporal se evaluó de acuerdo con el método descrito por Russell (1991) y la circunferencia escrotal se midió con cinta métrica. Los moruecos fueron entrenados y manejados por el mismo personal técnico, para minimizar el estrés.

Análisis de laboratorio

Medición del hematocrito y hemoglobina

Estos análisis se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos por Coffin (1987).

Medición de la actividad enzimática de la glutación peroxidasa (GSH-Px)

El hemolizado de la muestra de sangre para determinar la actividad de la glutación peroxidasa se realizó según el método de Beutler (1976): se tomaron 50 µL de sangre total, las sustancias usadas fueron 50 µL de saponina al 1 %, 0.86 mL de agua destilada y 40 µL de la solución preparada con 75 mg de cianuro de potasio y 75 mg de nitrato de sodio, disueltos en 1 mL de agua destilada. El hemolizado se conservó en refrigeración a 4 °C hasta el momento de su análisis mediante espectrofotometría óptica a 340 nm. La preparación de las soluciones para la determinación de la actividad enzimática de la glutación peroxidasa fue de acuerdo al método de Blanchflower *et al.* (1986).

Determinación del contenido de selenio en suero sanguíneo

Las muestras sanguíneas se obtuvieron de la vena yugular y se depositaron en tubos al vacío sin anticoagulante, se centrifugaron para obtener el suero sanguíneo y se congelaron a -20 °C hasta su análisis en el laboratorio. La determinación de Se se realizó por el método de espectrofluorimetría de barrido (AOAC, 2012), en un equipo modelo LS-30, serie 34371, Perkin Elmer, London, U.K.

Evaluaciones espermáticas

Los eyaculados recolectados en los tubos fueron valorados en términos del volumen (mL) y color (escala 1-5) (Evans y Maxwell, 1990; Baril *et al.*, 1993). La movilidad masal (escala 1-5) se evaluó con un microscopio de campo claro a 10X de acuerdo con lo descrito por (Evans y Maxwell, 1990; Baril *et al.*, 1993). La concentración ($\times 10^6$) de las células espermáticas se contabilizó en una cámara de Neubauer. Para evaluar la presencia de anomalías en la morfología espermática, se prepararon frotis de cada eyaculado, se secaron al aire, se tiñeron con eosina-nigrosina y cada frotis se observó al microscopio con el lente a 40X. Por cada muestra de semen se evaluaron 200 células y las anomalías (total, cola enrollada, sin cola, dos colas, otras) de los espermatozoides se clasificaron según la técnica descrita por (Baril *et al.*, 1993).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2x2x3 de tratamientos: 1) con y sin Se (bolo de cristal soluble), 2) razas (Hampshire y Suffolk) y 3) meses de la época reproductiva (noviembre, diciembre y enero); cada morueco fue considerado como unidad experimental. Los datos se analizaron con el procedimiento

MIXTO de SAS (2009) y la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997) para comparar las medias ($p \leq 0.05$). Antes del análisis, los valores obtenidos como porcentaje fueron procesados con la transformación arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observó efecto de ninguna de las interacciones en las variables ($p > 0.05$). Los moruecos Suffolk tuvieron PV mayor ($p \leq 0.05$) y la actividad de GSH-Px fue superior ($p \leq 0.05$) en los moruecos que recibieron el bolo con Se. Al contrario, las otras variables, como circunferencia escrotal, condición corporal, hematocrito, hemoglobina y contenido sérico de Se no se afectaron ($p > 0.05$) por el Se o la raza (Cuadro 1). Los valores de hematocrito, hemoglobina y contenido de Se fueron adecuados según Wheatley y Beck (1988) y Puls (1994). En contraste, la actividad de GSH-Px fue deficiente en ambas razas de moruecos con y sin bolo de cristal con Se dado que el valor normal de actividad para ovinos según Ceballos y Wittwer (1996) es del orden de $130 \text{ U g}^{-1} \text{ Hb}$. El bolo de cristal soluble de Se aumentó de forma consistente y sostenida, a través de los meses del estudio, la actividad de la enzima GSH-Px en los moruecos tratados; sin embargo, aunque la concentración de Se en suero fue adecuada para ambos grupos de machos con y sin Se, la actividad de la GSH-Px fue deficiente (Cuadro 1).

El PV, la circunferencia escrotal y la condición corporal de los sementales se mantuvieron con valores similares ($p > 0.05$) a lo largo del estudio (Cuadro 2); en contraste, los valores de hematocrito, hemoglobina, actividad de GSH-Px y contenido sérico de Se variaron ($p \leq 0.05$) a través de los meses que comprendió el estudio (Figura 1 y Cuadro 2).

El valor del hematocrito fue menor en el muestreo inicial de julio y mayor en octubre, pero en todos los meses del estudio estuvo dentro del rango adecuado (29 a 38%) indicado para ovinos. El contenido de hemoglobina también estuvo dentro del rango adecuado (8 a 16 mg dL⁻¹) indicado por Puls (1994). La actividad enzimática de GSH-Px fue menor y muy baja en el muestreo inicial del mes de julio y el valor mayor se obtuvo en enero; sin embargo, según Ceballos y Wittwer (1996), aunque aumentó considerablemente post aplicación del bolo de cristal con Se, fué inadecuada en la mayoría de los meses, solamente en enero tuvo un valor superior a 130 U g⁻¹ Hb. El contenido de Se fue marginal en el muestreo inicial (0.04 µg mL⁻¹), antes de aplicar el bolo de cristal soluble con Se, en el resto de los meses aumentó de 0.04 a niveles que van de 0.09 a 0.18 µg mL⁻¹, y se mantuvo en el rango adecuado (0.08 a 0.5 µg mL⁻¹) indicado por Wheatley y Beck (1988), y Puls (1994) en suero sanguíneo de ovinos. Kendall *et al.* (2001a,b) observaron efectos positivos en la concentración de Se en suero y actividad de la GSH-Px al aplicar Se en bolos solubles. Cabe destacar que la actividad enzimática de la GSH-Px de ambos grupos de moruecos estuvo por debajo de las 60 U g⁻¹ Hb en el muestreo basal de julio, así como en los moruecos del grupo control en los meses de septiembre y octubre (Figura 1). Como se muestra en la misma Figura 1, la actividad enzimática de GSH-Px fue mayor durante todo el período en el grupo de moruecos que recibió el bolo de cristal soluble con Se, sin embargo, solamente en el mes de enero, la actividad de GSH-Px fue mayor a 130 U g⁻¹ Hb. Kendall *et al.* (1997a,b) indicaron concentraciones séricas de Se similares a las obtenidas en el presente estudio en corderos complementados con un bolo de cristal soluble con Se, Co y Zn, no obstante que su nivel de Se en suero fue adecuado, en ambos grupos.

Cuadro 1. Efectos de un bolo de cristal soluble con selenio sobre el peso vivo, circunferencia escrotal, condición corporal, valores de hematocrito, hemoglobina, actividad de la glutatión peroxidasa y concentración de selenio en suero de moruecos Hampshire y Suffolk.

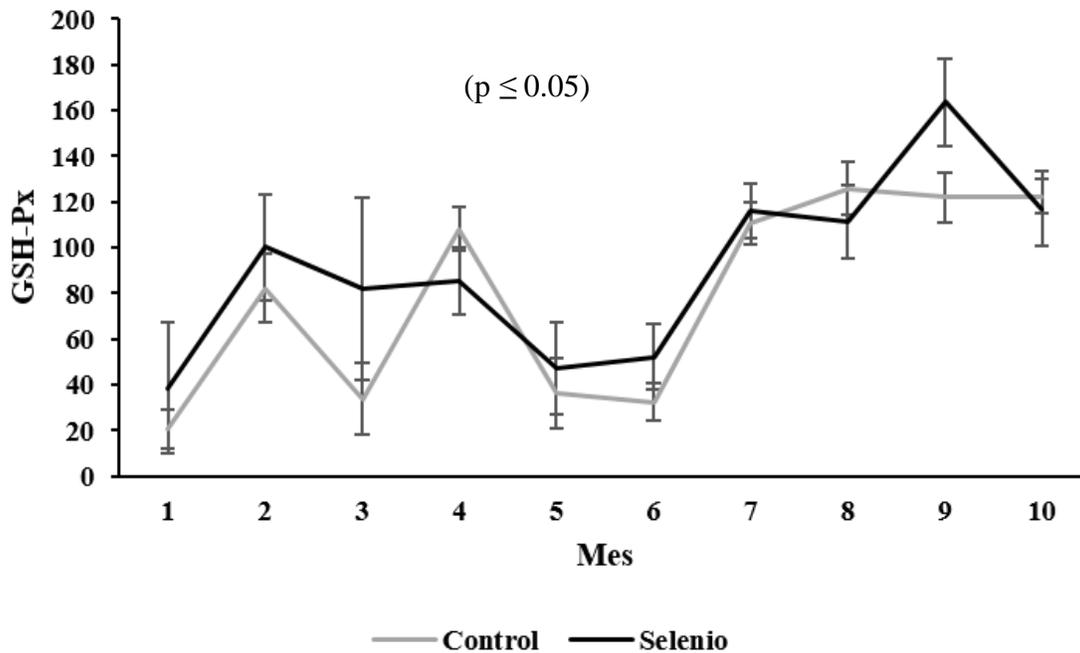
Variable	Selenio		Raza		EEM ¹	Efectos de ²	
	Control	Bolo c/Se	Hampshire	Suffolk		Se	Raza
Peso Vivo, kg	84.88 ^a	83.14 ^a	80.83 ^b	88.64 ^a	6.5362	ns	**
Circunferencia escrotal, cm	32.98 ^a	33.17 ^a	32.94 ^a	33.27 ^a	1.4597	ns	ns
Condición corporal, escala 1-5	3.66 ^a	3.68 ^a	3.72 ^a	3.60 ^a	0.2907	ns	ns
Hematocrito, %	33.85 ^a	35.92 ^a	33.54 ^a	35.21 ^a	4.0970	ns	ns
Hemoglobina ³ , mg dL ⁻¹	11.28 ^a	11.97 ^a	11.18 ^a	11.63 ^a	1.3060	ns	ns
Actividad de GSH-Px ³ (U g ⁻¹ Hb)	97.16 ^b	105.07 ^a	85.60 ^a	85.68 ^a	39.070	*	ns
Concentración Se ³ (µg mL ⁻¹)	0.10 ^a	0.16 ^a	0.15 ^a	0.16 ^a	0.0350	ns	ns

^{ab}Valores en una hilera, para el mismo factor, con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹EEM: error estándar de la media. ²NS: No significativo ($p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$).

³Valor normal: actividad de GSH-Px, deficiente <130 U g⁻¹ Hb (Ceballos y Wittwer, 1996); hematocrito, 29-38 %; hemoglobina, 8-16 g dL⁻¹; Se, adecuado=0.08-0.5, marginal=0.03-0.07, deficiente=0.006-0.03 µg mL⁻¹ (Wheatley y Beck, 1988; Puls, 1994).

0 Resultados como los encontrados en el presente estudio fueron observados de forma
 1 consistente con la aplicación de este tipo de bolos con Se, Co y Zn en ovinos (Kendall *et*
 2 *al.*, 1997a,b), o con bolos de cristal soluble con Cu, Co, Zn y Se en moruecos (Kendall *et*
 3 *al.*, 1999; 2000); por lo tanto, la aplicación intraruminal de bolos de cristal soluble, es un
 4 método adecuado, práctico, seguro y económico, para complementar y aumentar, de forma
 5 sostenida, los niveles de Se en moruecos ovinos a través del año con la finalidad de mejorar
 6 la calidad del semen en la época reproductiva.



7

Figura 1. Actividad de la enzima GSH-Px (U g⁻¹ Hb) en sangre de moruecos con y sin selenio durante el periodo experimental en una unidad de producción ovina del valle de Toluca, México.

Los periodos 1 al 3 son las semanas 1, 2 y 3 de julio; el resto (4-10) corresponden de agosto de 2005 a febrero de 2006.

Cuadro 2. Efecto del mes de muestreo, antes y después de suministrar un bolo de cristal soluble con selenio, en el cambio de PV, circunferencia escrotal, condición corporal, hematocrito, hemoglobina, actividad de GSH-Px y concentración de selenio de moruecos Hampshire y Suffolk.

Variable	Mes										EEM ¹
	Jul. S1 [‡]	Jul. S2 [‡]	Jul. S3 [‡]	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	
Peso vivo (kg)	83.3 ^a	84.2 ^a	84.5 ^a	85.1 ^a	85.0 ^a	84.2 ^a	83.1 ^a	85.6 ^a	83.2 ^a	79.0 ^a	2.9230
Circunferencia escrotal (cm)	32.9 ^a	33.1 ^a	33.3 ^a	32.5 ^a	33.1 ^a	32.5 ^a	34.2 ^a	32.6 ^a	32.1 ^a	33.0 ^a	0.6528
Condición corporal (escala 1-5)	3.4 ^a	3.4 ^a	3.5 ^a	3.5 ^a	3.4 ^a	3.6 ^a	3.6 ^a	3.7 ^a	3.7 ^a	3.5 ^a	0.1299
Hematocrito (%)	34.6 ^b	35.7 ^{ab}	31.7 ^b	33.4 ^b	35.4 ^{ab}	39.1 ^a	33.7 ^b	33.9 ^b	31.8 ^b	33.6 ^b	1.8325
Hemoglobina (g dL ⁻¹)	11.5 ^{bc}	11.9 ^{ab}	10.5 ^{bc}	11.1 ^{bc}	11.8 ^{abc}	13.0 ^a	11.2 ^{bc}	11.1 ^{bc}	10.3 ^c	11.0 ^{bc}	0.5844
Actividad GSH-Px (U g ⁻¹ Hb)	30.1 ^d	91.7 ^{bc}	89.4 ^{bc}	96.1 ^{bc}	92.0 ^{bc}	93.0 ^{bc}	113.5 ^{ab}	118.1 ^{ab}	143.9 ^a	119.4 ^{ab}	17.471
Contenido de Se (µg mL ⁻¹)	0.04 ^d	0.09 ^d	0.11 ^d	0.13 ^{cd}	0.17 ^{ab}	0.18 ^a	0.16 ^{abc}	0.15 ^{bcd}	0.12 ^d	0.17 ^{ab}	0.0160

^{abcd}Valores en una hilera con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹EEM: error estándar de la media.

[‡]Muestras de sangre semanas 1, 2 y 3 en julio.

8 El análisis del semen (Cuadro 3) no mostró efecto de las interacciones de los factores
9 sobre las variables estudiadas. El Se suministrado a los moruecos produjo mayor movilidad
10 de los espermatozoides ($p \leq 0.05$), y también aumentó los espermatozoides vivos ($p \leq 0.05$)
11 y normales ($p \leq 0.01$) en el semen; los moruecos Suffolk mostraron mejor calidad de semen
12 en volumen ($p \leq 0.01$), color ($p \leq 0.05$), densidad ($p \leq 0.01$) y concentración ($p \leq 0.05$); los
13 eyaculados obtenidos en enero mostraron valores mayores en las variables de movilidad,
14 densidad ($p \leq 0.01$) y una concentración mayor ($p \leq 0.05$) de células espermáticas.

15 El aumento en la movilidad, así como en los valores de espermatozoides vivos y
16 normales, del eyaculado de los moruecos tratados con el bolo de cristal soluble con Se,
17 probablemente se debe a la mayor actividad de la enzima GSH-Px en sangre, promovida
18 por el Se suministrado a través del bolo; esto coincide con los hallazgos indicados por
19 Kendall *et al.* (2000) en moruecos tratados con bolos de cristal soluble con Zn, Co y Se. El
20 Se adicional, suministrado a través del bolo, aumento el estado antioxidante como lo indicó
21 la mayor actividad de la enzima GSH-Px, lo anterior proporciona una mayor protección
22 contra la peroxidación lipídica espontánea, la cual causa que la membrana plasmática de la
23 célula pierda su habilidad como una barrera con permeabilidad selectiva, en consecuencia,
24 se pierden enzimas y sustratos citoplásmicos, por lo que disminuye la movilidad y
25 sobrevivencia del espermatozoide (Álvarez y Storey, 1984; Zubair *et al.*, 2015). Los
26 moruecos que recibieron el bolo tuvieron mejor calidad del semen, lo cual pudo deberse a
27 que el Se suministrado estimuló la formación de selenoproteínas en el tejido testicular, y
28 esto, a su vez, estimuló una mayor espermatogénesis (Ahsan *et al.*, 2014).

29

Cuadro 3. Efectos de un bolo de cristal soluble de selenito de sodio sobre las características del eyaculado de moruecos Hampshire y Suffolk durante la época reproductiva (noviembre a enero).

Variable	Selenio		Raza		Mes			EEM ¹	Efectos de ²		
	Control	Bolo c/Se	Hampshire	Suffolk	Nov.	Dic.	Ene.		Se	Raza	Mes
Volumen (mL)	0.91 ^a	0.87 ^a	0.80 ^b	1.03 ^a	0.86 ^b	0.92 ^a	0.86 ^b	0.298	ns	**	ns
Color (escala 1-5)	2.89 ^a	2.98 ^a	2.88 ^b	3.02 ^a 3.02 ^a	2.83 ^a	2.96 ^a		0.416	ns	*	ns
Movilidad masal (escala 1-5)	3.20 ^b	3.47 ^a	3.20 ^a	3.40 ^a	3.04 ^b	3.33 ^b	3.69 ^a	0.723	*	ns	**
Densidad	3.07 ^a	2.98 ^a	2.98 ^b	3.37 ^a	2.88 ^b	3.10 ^b	3.68 ^a	0.687	ns	**	**
Concentración (millones/mL ⁻¹)	1,850 ^a	1,829 ^a	1,729 ^b	1,850 ^a 1,892 ^a	1,723 ^b	1,742 ^b		256.4	ns	*	*
Células vivas (%)	92.18 ^b	93.94 ^a	92.72 ^a	93.55 ^a 92.70 ^a	93.50 ^a	92.80 ^a		2.661	*	ns	ns
Células normales (%)	91.98 ^b	94.33 ^a	92.80 ^a	93.04 ^a 92.34 ^a	93.59 ^a	92.61 ^a		2.562	**	ns	ns

^{ab}Valores con distinta letra en una hilera para el mismo factor, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹EEM= error estándar de la media. ²NS= No significativo ($p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$).

En nuestro estudio los moruecos tratados con el bolo de cristal soluble con Se mostraron mayor movilidad espermática en el eyaculado, lo cual coincide con lo observado por Scott *et al.* (1998), quienes dieron un complemento oral de Se a hombres cuya calidad del semen indicó que padecían una subfertilidad clínica. A nivel de campo, la mejora en las variables indicadas en el presente estudio puede influir favorablemente en la calidad del eyaculado y, por lo tanto, en la fertilidad del semen de los moruecos; sin embargo, en la especie ovina, pero esto debe ser confirmado mediante otros estudios.

CONCLUSIONES

Los bolos de cristal soluble con selenito de sodio aumenta la concentración de Se en suero y la actividad de la enzima GSH-Px de manera sostenida; además, mejora la movilidad y la viabilidad de los eyaculados de moruecos Hampshire y Suffolk. El efecto es mayor en enero, durante la época reproductiva. Los moruecos Suffolk, en el valle de Toluca, México, mostraron eyaculados de mayor calidad que los moruecos de la raza Hampshire.

LITERATURA CITADA

- Ahsan, U., Z. Kamran, I. Raza, S. Ahmad, W. Babar, M. H. Riaz, and Z. Iqbal. 2014. Role of selenium in male reproduction-A review. *Anim. Reprod. Sci.* 146: 55-62.
- Allen, J. G., P. Steele, H. G. Nasters, and N. F. Dantouono. 1986. A study of nutritional myopathy in weaner sheep. *Aust. Vet. J.* 68: 8-13.
- Alvarez, J. G., and B. T. Storey. 1984. Assessment of cell damage caused by spontaneous lipid peroxidation in rabbit spermatozoa. *Biol. Reproduc.* 30: 323-331.
- 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.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. AOAC: International, USA. pp. 34-36.
- Baril, G., Chemineau, P., Cognie, Y., Guérin, Y., Leboeuf, B., Orgeur, P., et Vallet, J. C. 1993. *Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins*. Monnaie, France: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 111 p.
- Beutler, G. E. 1976. *Red Cell Metabolism: A Manual of Biochemical Methods*. 2nd Ed. Grune and Streaton, N.Y., USA. 160 p.
- Blanchflower, W. J., Rice, D. C., and Davidson, W. B. 1986. Blood glutathione peroxidase. A method for measurement and the influence of storage, cyanide and Drabkin's reagent on enzyme activity. *Biolog. Trace Element Res.* 11: 89-100.
- Ceballos, M. A., and Wittwer, F. G. 1996. Metabolismo del selenio en rumiantes. *Arch. Med. Vet.* 2: 5-18.
- Coffin, L. D. 1987. *Laboratorio Clínico en Medicina Veterinaria*. Ediciones Científicas la Prensa Medica Mexicana. pp: 125-162.
- Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Donald, G. E., J. P. Langlands, J. E. Bowles, A. J. Smith, and G. L. Burke. 1993. Selenium supplements for grazing sheep 3. Development of an intra-ruminal pellet with an

- extended life. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 295-308.
- Evans, G., y C. W. Maxwell. 1990. Conservación de semen congelado. In: *Inseminación Artificial en Ovejas y Cabras*. Evnas, G. y C. W. Maxwell. (eds). Edit. Acribia, Zaragoza, España. pp: 123- 142.
- Holben, D. H., and A. M. Smith. 1999. The diverse role of selenium within selenoproteins: A review. *Journal of the American Dietetic Association* 99: 836-843.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Almoloya de Juárez, México, Clave geoestadística 15005; 2009. inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15005.pdf. (Consulta: Julio 2016).
- Irvine, D. S. 1996. Glutation as a treatment for male infertility. *Rev. Reprod.* 1(6): 12.
- Kendall, N. R., A. M. Mc Kenzie, and S. B. Telfer. 1997a. The use a soluble glass bolus to prevent zinc deficiency in sheep. *In: Fisher, P. W. F., M. R. Abbe, K. A. Cockell, and R. S. Gibson (eds.). Trace Element in Men and Animals-9: Proceeding on the Ninth International Symposium on Trace elements in Man and Animals*. NRC Research Press, Ottawa, Canada. pp: 303-305.
- Kendall, N. R., A. M. Mc Kenzie, and S. B. Telfer. 1997b. Effect a soluble cobalt, selenium and zinc glass bolus on humoral immune response and trace elements status in lambs. *In: Fisher, P. W. F., M. R. Abbe, K. A. Cockell, and R. S. Gibson (eds.). Trace element in men and animals-9: Proceeding on the ninth international symposium on trace elements in man and animals*. NRC Research Press, Ottawa Canada. pp: 442-444.
- Kendall, N. R., N. C. Farrar, D. V. Illingworth, D. W. Jackson, and S. B. Telfer. 1999. The

- use of a soluble glass copper, cobalt and selenium bolus to supply selenium to sheep. Proc. of the Brit. Soc. of Anim. Sci. pp. 99.
- Kendall, N. R., S. McMullen, A. Green, and R. G. Rodway. 2000. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on trace element status and semen quality of ram lambs. Anim. Reprod. Sci. 62: 277-283.
- Kendall, N. R., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 2001. The effect of a copper, cobalt and selenium soluble glass bolus given to grazing sheep. Liv. Prod. Sci. 68:31-39.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. Anim. Sci. 73: 163-169.
- Langlands, J. P., G. E. Donald, J. E. Bowles, and A. J. Smith. 1994. Selenium supplements for grazing sheep 4. The use of intraruminal pellets containing elevated quantities of selenium. Anim. Feed Sci. and Technol. 46: 109-118.
- Minson, D. J. 1990. Forages in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego, USA. 463p.
- Montes de Oca-Jiménez, R., I. A. Domínguez-Vara, F. Salazar-García, A. García-Álvarez, y B. Valladares-Carranza. 2003. Bocio fetal ovino: estudio de caso. *En: Memorias del XII Congreso Nacional de Producción Ovina. AMTEO. 10-12 de septiembre de 2003. Tulancingo, pp.57-60.*
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Animal Nutrition Series. National Research Council. National Academy Press U.S.A. 362 p.

- Oguntibeju, O. O., J. S. Esterhuysen, E. J. Truter. 2009. Selenium: its potential role in male infertility. *Pak. J. Med. Sci.* 25: 332-337.
- Puls, R. 1994. *Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data.* Sherpa International. Clarbrook, Canada. pp: 83-109.
- Ramírez-Bribiesca, J. E., J. L. Tórtora, M. Huerta, L. M. Hernández, R. López, y M. M. Crosby. 2005. Effect of selenium-vitamin E injection in selenium-deficient dairy goats and kids on the Mexican plateau. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 57: 77-84.
- Ramírez, B. E., C. E. Hernández, C. L. M. Hernández, y P. J. Tórtora. 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.
- Revilla-Vázquez, A., E. Ramírez-Bribiesca, R. López-Arellano, L. M. Hernández-Calva, J. Tórtora-Pérez, E. García-García, y M. R. G. Cruz. 2008. Suplemento de selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. *Agrociencia.* 42: 629-635.
- Russel, A. 1991. Body condition scoring of sheep. In: E. Boden, editor. *Sheep and Goat Practice*, Philadelphia, USA: Bailliere Tindal. pp: 156-162.
- SAS. 2009. *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*, 2nd edn. SAS Institute Inc, Cary, N. C., U.S.A.
- Scott, R., A. MacPherson, R. W. S. Yates, B. Hussain, and J. Dixon. 1998. The effect of oral selenium supplementation on human sperm motility. *Brit. J. Urol.* 82: 76-80.
- Shamberger, R. J. 1983. *Biochemistry of Selenium.* Plenum Press. USA. 334p.
- Silva, J. H., M. A. Quiroga, y N. J. Auza. 2000. Selenio en el rumiante. *Relaciones suelo, planta, animal. Medicina Veterinaria.* 17: 229-246.
- Steel, R. G. D., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics:*

A Biometrical Approach.3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.
622 p.

Vázquez-Armijo, J. F., R. Rojo, D. López, J. L. Tinoco, A. González, N. Pescador, I. A. Domínguez-Vara. 2011. Trace elements in sheep and goats reproduction: a review. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 14: 1-13.

Vezina, D., F. Mauffette, K. D. Robert, and G. Bleau. 1996. Selenium vitamin E supplementation in infertile men effect on semen parameters and micronutrient levels and distribution. Biol. Trace Element Res. 53: 55-83.

Wheatley, L. E., and N. F. G. Beck. 1988. The influence of season and husbandry on the selenium status of sheep in a deficient area. Brit. Etol. J. 144: 246-251.

Wilkins, J. F., and B. A. Hamilton. 1980. Low release of selenium from recovered ruminal pellets. Aust. Vet. J. 56: 87-89.

Zubair, M., M. Ali, M. Ahmad, S. M. Sajid, I. Ahmad, and S. T. Gul. 2015. Effect of selenium and vitamin E on cryopreservation of semen and reproductive performance of animals (a review). J. Entomol. Zool. Studies. 3: 82-86.

Anexo 2. Presentación en Reunión Bianual de Reproducción Animal 2012. Centro Universitario UAEM Temascaltepec, México.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
 Centro Universitario UAEM Temascaltepec
 Facultad de Ingeniería y Ciencias
 Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Zootecnista
 Licenciatura de Ingeniería en Agronomía
 Cuerpo Académico Sistemas de Producción Agropecuaria y Recursos Naturales
 Cuerpo Académico Mejoramiento, Biotecnología y Sistemas de Alimentación



Reunión Bianual sobre Reproducción Animal

2012



Biannual Meeting on Animal Reproduction

Conferenciantes



José Herrera C.; UMSNH-Michoacán, *México*
Ignacio A. Domínguez V.; UAEM-México, *México*
Thaís del Valle Díaz Z.; UCV-Maracay, *Venezuela*
Nazario Pescador Salas; UAEM-México, *México*
Rodolfo C. Ungerfeld M.; URep-Montevideo, *Uruguay*
Andrés Aragón Martínez; UAM-D. F., *México*
Juraj Grizelj; UZ-Zagreb, *Croacia*
G. Manuel Parra B.; IPN-Tamaulipas, *México*
Raúl Sánchez Sánchez; INIA-Madrid, *España*
J. Alberto Delgadillo S.; UAAAN-Coahuila, *México*
Nicolás López V.; UM-Palmerston Norte, *Nueva Zelanda*
Rafael Cano Torres; UAEM-México, *México*
Gonzalo Martínez; UCV-Maracay, *Venezuela*
Julio Porfirio Ramón U.; ITC-Yucatán, *México*
Antonio González de Bulnes L.; INIA-Madrid, *España*
Arnoldo González Reyna; UAT-Tamaulipas, *México*
Edgardo Rubianes; URep-Montevideo, *Uruguay*
Jaime Arroyo Ledezma; UMar-Oaxaca, *México*
José F. Vázquez Armijo; CUUAEMT-México, *México*

Sede y fecha

Centro Universitario UAEM Temascaltepec
04 y 05 de Octubre de 2012

Informes e inscripciones

Centro Universitario UAEM Temascaltepec
 Km. 67.5 Carr. Fed. Toluca-Tejupilco
 Barrio de Santiago, Temascaltepec, México
 01 (716) 266 5209, 5138, 5171
www.cutemasaltepec.mx
Facultad de Ingeniería y Ciencias
 Centro Universitario Victoria
 Ciudad Vitoria, Tamaulipas
 01 (834)318 1800, 1718
www.agronomíayciencias.uat.edu.mx

Cuota de inversión y contacto electrónico

Estudiantes [Credencial vigente]: \$200.00
Resto del público: \$300.00
jvazqueza579@profesor.uaemex.mx

DIRECTORIO UAT

ING. JOSÉ MARÍA LEAL GUTIÉRREZ
RECTOR

DRA. OLGA HERNÁNDEZ LIMÓN
SECRETARIA GENERAL

ING. JULIO CESAR GÓMEZ HERNÁNDEZ
SECRETARIA TÉCNICA

C.P. ENRIQUE CARLOS FOD. E. PÉREZ DEL RÍO
SECRETARIA DE FINANZAS

ING. JOSÉ ANDRÉS SUÁREZ FERNÁNDEZ
SECRETARIA ACADÉMICA

ING. MARCO A. DELGADO BARRIOS
SECRETARIA ADMINISTRATIVA

M. EN C. FROYLAN ANDRÉS LUCERO MAGAÑA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DR. EN C. JOSÉ HUGO TOMÁS SILVA ESPINOZA
SECRETARIO ACADÉMICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DR. EN C. ALEJANDRO CARREÓN PÉREZ
SECRETARIO ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DR. EN C. ANDRÉS GILBERTO LIMAS MARTÍNEZ
SECRETARIO TÉCNICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DR. FERNANDO LEAL RÍOS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN DE LA FIC

DR. EN C. PEDRO ZÁRATE FORTUNA
COORDINADOR DE LA INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

PH. D. ARNOLDO GONZÁLEZ REYNA
LÍDER DEL CUERPO ACADÉMICO/MEJORAMIENTO BIOTECNOLOGÍA Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

Informes e inscripciones

Centro Universitario UAEM Temascaltepec
Km. 67.5 Carr. Fed. Toluca - Tejupilco
Barrio de Santiago, Temascaltepec, México
01 (716) 266 5209, 5138, 5171
www.cutemasaltepec.mx

Facultad de Ingeniería y Ciencias
Centro Universitario Victoria
Ciudad Victoria, Tamaulipas
01 (834) 318 1800, 1718
www.agronomiayciencias.uat.edu.mx

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM

30
años aniversario
TEMASCALTEPEC

Reunión Biannual sobre Reproducción Animal
2012
Biannual Meeting on Animal Reproduction

45 Aniversario

FIC
1967-2012



 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
 CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
 INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA
 INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
 RED DE CUERPO ACADÉMICOS CENTRO-NORTE

Programa

Reunión Biannual sobre Reproducción Animal
 2012
 Biannual Meeting on Animal Reproduction


 SEDE: AUDITORIO DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
 4 Y 5 DE OCTUBRE, 2012

DIRECTORIO UAEM

DR. EN C. EDUARDO GASCA PLIEGO
RECTOR

M.A.S.S. FELIPE GONZÁLEZ SOLANO
SECRETARIO DE DODENCA

DR. SERGIO FRANCO MAASS
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS

DR. EN C. POL. MANUEL HERNÁNDEZ LUNA
SECRETARIO DE RECTORÍA

M. A. E. GEORGINA MARÍA ARREDONDO AYALA
SECRETARIA DE DIFUSIÓN CULTURAL

M. EN A. ED. YOLANDA E. BALLESTEROS SENTÍES
SECRETARIA DE EXTENSIÓN Y VINCULACIÓN

DR. EN C. JAIME NICOLÁS JARAMILLO PANIAGUA
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

DR. EN EDU. MANUEL ANTONIO PÉREZ CHÁVEZ
ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCIÓN CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

DR. EN EDU. DANIEL CARDOSO JIMÉNEZ
SUBODIRECTOR ACADÉMICO DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

DR. GERMÁN GÓMEZ TENORIO
SUBODIRECTOR ADMINISTRATIVO CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA
JEFA DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE LA LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PH. D. BENITO ALBARRÁN PORTILLO
LÍDER DEL CUERPO ACADÉMICO/SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y RECURSOS NATURALES

DR. SAMUEL REBOLLAR REBOLLAR
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

Dirigido a estudiantes, profesionales y productores

Cuota de inversión

Estudiantes (credencial vigente): \$ 200.00
 Resto del público: \$ 300.00

La cuota incluye:
 Constancia, memoria, carpeta y cafetería

Contacto electrónico
 jvazquez579@profesor.uaemex.mx

Jueves, 04 de Octubre Sesión matutina	Jueves, 04 de Octubre Sesión vespertina	Viernes, 05 de Octubre Sesión matutina	Viernes, 05 de Octubre Sesión vespertina
07:30 Registro	—Moderador: Javier Hernández Meléndez—	07:30 Registro	—Moderador: Rolando Rojo Rubio—
08:15 Inauguración	15:30 Implicación del verraco en los resultados reproductivos de la explotación del porcino Rafel Sánchez Sánchez Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias; Madrid, España.	—Moderador: Juvencio Hernández Martínez—	15:30 Los métodos no hormonales y hormonales de la sincronización del ciclo sexual de la cabra con el uso de la inseminación artificial Juraj Grizelj Universidad de Zagreb; Zagreb, Croacia.
—Moderador: Anastasio García Martínez—	16:15 Genetic selection for fertility in the New Zealand dairy cow; a requirement for seasonal calving Nicolás López Villalobos Universidad de Massey; Palmerston Norte, Nueva Zelanda.	08:15 Vitrificación de semen Rafael Cano Torres Universidad Autónoma del Estado de México; Toluca, México, México.	15:45 Comportamiento productivo y reproductivo en moruecos de Pelo en climas tropicales Arnoldo González Reyna Universidad Autónoma de Tamaulipas; Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.
08:45 Biotecnologías reproductivas para el Siglo XXI Julio Portirio Ramón Ugalde Instituto Tecnológico de Comalcalco; Comalcalco, Yucatán, México.	17:00 Avances en el control ovárico de la oveja Edgardo Rubianes Universidad de la República; Montevideo, Uruguay.	09:00 Estrategias sostenibles de manejo reproductivo en pequeños rumiantes Antonio González De Bulnes López Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias; Madrid, España.	16:30 Avances en el conocimiento de la Inteinización Nazario Pescador Salas Universidad Autónoma del Estado de México; Toluca, México, México.
09:30 Sincronización de celos con esponjas, vaginitis y fertilidad en pequeños rumiantes Rodolfo Carlos Ungerfeld Morón Universidad de la República; Montevideo, Uruguay.	17:45 Importancia de los elementos minerales traza en la actividad reproductiva de los pequeños rumiantes José Fernando Vázquez Armijo Centro Universitario UAEM Temascaltepec; Temascaltepec, México, México.	09:45 Control reproductivo de los caprinos sin el uso de hormonas exógenas José Alberto Delgadillo Sánchez Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Saltillo, Coahuila, México.	17:15 Respuesta reproductiva de sementales ovinos suplementados con bolos de cristal soluble de Se y Zn Ignacio Arturo Domínguez Vara Universidad Autónoma del Estado de México; Toluca, México, México.
10:15 Mejoramiento genético asistido para características reproductivas de animales domésticos Gaspar Manuel Parra Bracamonte Instituto Politécnico Nacional-Centro de Biotecnología Genómica; Reynosa, Tamaulipas, México.	19:30 Mesa de trabajo (Investigadores invitados, CAs participantes y Directivos organizadores) Hotel sede Valle de Bravo, México, México.	10:30 El uso de la reproducción asistida en el mejoramiento genético Gonzalo Martínez Universidad Central de Venezuela; Maracay, Venezuela.	18:00 Clausura
11:00 Receso		11:15 Receso	
11:15 La suplementación grasa y su efecto sobre la reproducción de rumiantes José Herrera Camacho Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Tzitzimbaro, Michoacán, México.		11:30 Bioestimulación sexual en ganado de carne Rodolfo Carlos Ungerfeld Morón Universidad de la República; Montevideo, Uruguay.	
12:00 Papel de las caspasas activas en la calidad espermática Andrés Aragón Martínez Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa; Distrito Federal, México.		12:15 Uso de grasa sobrepasante y su efecto sobre la reproducción del ganado Brahman Thais del Valle Díaz Zambrano Universidad Central de Venezuela; Maracay, Venezuela.	
12:45 Control artificial de la reproducción en ovinos de Pelo Jaime Arroyo Ledezma Universidad del Mar Campus Puerto Escondido; Puerto Escondido, Oaxaca, México.		13:00 Comida libre	
13:30 Comida libre			



Reunión Bianaual sobre Reproducción Animal
2012
Biannual Meeting on Animal Reproduction



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS



CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA
LICENCIATURA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

CUERPO ACADÉMICO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y RECURSOS NATURALES
CUERPO ACADÉMICO MEJORAMIENTO, BIOTECNOLOGÍA Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

Constancia

otorgada a:

A: IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA

POR SU PARTICIPACIÓN COMO *CONFERENCIANTE MAGISTRAL* EN LA

"2012 REUNIÓN BIANUAL SOBRE REPRODUCCIÓN ANIMAL"
QUE SE REALIZÓ EN LAS INSTALACIONES DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC
LOS DÍAS 04 Y 05 DE OCTUBRE DE 2012

CON LA *CONFERENCIA MAGISTRAL*

**RESPUESTA REPRODUCTIVA DE SEMENTALES OVINOS SUPLEMENTADOS
CON BOLOS DE CRISTAL SOLUBLE DE SE Y ZN**

Se extiende la presente constancia a los 05 días de mes de octubre del año dos mil doce.

ASENTAMIENTO
PATRIAL, DIGNIDAD Y TRABAJO

"2012, Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos"

UAEM
CENTRO UNIVERSITARIO
TEMASCALTEPEC
DIRECCION

DR. en EDU. MANUEL ANTONIO PÉREZ CHAVÉZ
ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO DE LA DIRECCIÓN DEL
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

M. en C. FROYLÁN ANDRÉS LUCERO MAGAÑA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS

