



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E
INORGÁNICO SOBRE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DE OVEJAS EN
TRANSICIÓN

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

ARTURO PAULINO SÁNCHEZ PAYÁN

Bajo la supervisión de: **Carlos Sánchez del Real, M.C.**



APROBADA

Chapingo, Estado de México, julio de 2023



EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO SOBRE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DE OVEJAS EN TRANSICIÓN

Tesis realizada por **ARTURO PAULINO SÁNCHEZ PAYÁN**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



M.C. Carlos Sánchez del Real

CODIRECTOR:



Dr. Jaime Gallegos Sánchez

ASESOR:



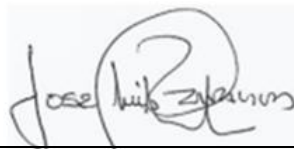
Dra. Hortensia Barragán González

ASESOR:



Dr. Luis Alberto Miranda Romero

ASESOR:



Dr. José Luis Zaragoza Ramírez

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Literatura citada	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Selenio	4
2.2 El Selenio orgánico	5
2.4 El Selenio inyectado	5
2.5 Fisiología de la reproducción en ovejas	6
2.6 Manejo reproductivo en ovejas	7
2.7 Etapa de transición en ovejas	7
2.8 Requerimientos de selenio en oveja gestante	8
2.9 Levadura (<i>Saccaromyces cerevisae</i>)	8
2.10 Literatura citada	9
3 SELENIO EN LA REPRODUCCIÓN DE OVINOS	12
3.1 Resumen	12

3.2 Abstract	13
3.3 Introducción.....	14
3.3.1 Selenio inorgánico	14
3.3.2 Selenio orgánico	15
3.3.3 Selenio inyectado	16
3.3.4 La glutatión peroxidasa.....	16
3.3.5 Efecto de selenio en la fertilidad de la oveja.....	17
3.3.6 Efectos de selenio en el crecimiento de corderos.....	17
3.3.7 Efecto de selenio en la fertilidad de carneros	18
3.4 Conclusiones.....	19
3.5 Literatura citada.....	19
4. EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES FUENTES DE SELENIO SOBRE ACTIVIDAD REPRODUCTIVA EN OVEJAS DE TRANSICIÓN	22
4.1 Resumen	22
4.2 Abstract	23
4.3 Introducción.....	24
4.4 Materiales y métodos	25
4.5 Resultados y discusión.....	31
4.6 Conclusiones.....	36
4.7 Literatura citada.....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1.	Alimentación de las ovejas en gestación.....	26
Cuadro 2.	Concentrado ofrecido a las ovejas del experimento.....	26
Cuadro 3.	Composición nutritiva (NRC, 2007) estimada de los concentrados experimentales.....	27
Cuadro 4.	Composición nutritiva (NRC, 2007) estimada de las dietas experimentales.....	28
Cuadro 5.	Alimentación de las ovejas en lactación.....	29
Cuadro 6.	Variables reproductivas en ovejas tratadas con diferentes fuentes de selenio y alimentación dirigida.....	32
Cuadro 7.	Variables reproductivas en ovejas tratadas con diferentes fuentes de selenio y alimentación dirigida.....	33
Cuadro 8.	Proporción de supervivencia (%) del intervalo estral desde el inicio hasta el final del tratamiento en ovejas alimentadas con diferentes fuentes de selenio.....	33
Cuadro 9.	Pesos y condición corporal de las ovejas.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1.	Periodo de transición de una oveja (Cabiddu et al., 2020; Zarrin et al., 2021)	7
Figura 2.	Sistema glutatión peroxidasa (Linus Pauling Institute, 2023).....	17
Figura 3.	Distribución del estro después de retirar CIDR.....	34

DEDICATORIAS

A mis padres, Gisela Payán Ruiz y Arturo Sánchez Mejía, quienes siempre me han apoyado y motivado para seguir el camino del estudio y el aprendizaje.

A mi amada familia, Marian, Ada Paulina y Caleb, quienes han sido mi mayor fuente de alegría y felicidad en esta vida.

A mis hermanas Claudia Gissel y Mia Coral.

Agradezco de todo corazón a cada una de las personas que creyeron en mí y me apoyaron en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por proveer los fondos para estudiar la Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

A mi *alma mater*, la Universidad Autónoma Chapingo y al programa de Posgrado en Producción Animal.

Al Laboratorio de reproducción ovino y caprino (LA ROCa) del Colegio de Posgraduados por las invaluables facilidades otorgadas durante la fase experimental de mi investigación.

Al M.C. Carlos Sánchez del Real por su invaluable dirección y apoyo en la realización de este trabajo de investigación. Su guía, conocimientos y dedicación fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

Al Dr. Jaime Gallegos Sánchez, por sus consejos, apoyo y conocimientos aportados en este trabajo de investigación.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Luis Alberto Miranda Romero y al Dr. José Luis Zaragoza Ramírez, quienes han sido mis asesores en este trabajo de investigación.

A mi gran amiga y asesora Dra. Hortensia Barragán González, quien ha sido una fuente de inspiración y motivación para seguir adelante con mis estudios de maestría en ciencias. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar este logro.

A cada uno de los profesores del posgrado por contribuir a mi formación profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Arturo Paulino Sánchez Payán
Fecha de nacimiento	09 de junio de 1995
Lugar de nacimiento	Cuautla, Morelos.
CURP	SAPA950609HMSNYR01
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Desarrollo académico

Maestría en Ciencias (2021-2022)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2014-2018)	DEIS en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO E INORGÁNICO SOBRE LA ACTIVIDAD REPRODUCTIVA DE OVEJAS EN TRANSICIÓN¹

La suplementación de minerales traza, incluyendo el selenio, tiene un impacto positivo en la producción animal, ya que actúa como antioxidante en el organismo, protegiendo las células del daño oxidativo y fortaleciendo el sistema inmunológico. Para elegir la forma adecuada de selenio, se deben considerar varios factores, como el selenio disponible en la dieta, la edad y la salud del animal, y el objetivo de la suplementación. Se evaluó el efecto del selenio en la reproducción de ovejas durante la etapa de transición (preparto y postparto) alimentando con dietas que contenían selenio de fuente orgánica (levadura enriquecida con selenio) y fuente inorgánica (selenito de sodio). Además, se agregó un tratamiento de control con la aplicación de selenito de sodio inyectado al inicio del período experimental. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y observó que las ovejas asignadas al tratamiento control presentaron un menor tiempo en la aparición de estros ($p < 0.05$) en comparación con las otras dos fuentes de selenio. Sin embargo, todas las formas de selenio evaluadas demostraron producir un efecto positivo en la reproducción. Los resultados permiten inferir que el selenio es un nutriente esencial para mejorar los parámetros reproductivos en ovejas durante la etapa de transición, donde se producen grandes cambios metabólicos ocasionados por el último tercio de gestación, el parto e inicio y mantenimiento de la lactancia.

Palabras clave: Selenio, transición, reproducción, nutrición, antioxidante.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Arturo Paulino Sánchez Payán

Director: Carlos Sánchez del Real; Codirector: Jaime Gallegos Sánchez

GENERAL ABSTRACT

EFFECT OF ORGANIC AND INORGANIC SELENIUM SUPPLEMENTATION ON THE REPRODUCTIVE ACTIVITY OF SHEEP IN TRANSITION¹

The supplementation of trace minerals, including selenium, has a positive impact on animal production, as it acts as an antioxidant in the body, protecting cells from oxidative damage and strengthening the immune system. Several factors must be considered to choose the appropriate form of selenium, such as the selenium available in the diet, the age and health of the animal, and the goal of supplementation. The effect of selenium on sheep reproduction during the transition stage (prepartum and postpartum) was evaluated by feeding diets containing selenium from organic (selenium-enriched yeast) and inorganic sources (sodium selenite). In addition, a control treatment with the injected sodium selenite was added at the beginning of the experimental period. A completely randomized experimental design was used, and it was observed that sheep assigned to the control treatment had a shorter time to estrus onset ($p < 0.05$) compared to the other two selenium sources. However, all forms of selenium tested were shown to affect reproduction positively. The results allow us to infer that selenium is an essential nutrient to improve reproductive parameters in sheep during the transition stage, where large metabolic changes occur caused by the last third of gestation, delivery, and initiation and maintenance of lactation.

Key words: selenium, transition, reproduction, nutrition, antioxidant.

¹Master of Science Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Arturo Paulino Sánchez Payán

Advisor: Carlos Sánchez del Real; Co-advisor: Jaime Gallegos Sánchez

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La eficiencia reproductiva es un indicador de buena producción en los sistemas ganaderos, por consiguiente, debe ser considerada una meta en las unidades de producción ovinas. Para mejorar la eficiencia reproductiva es importante considerar la relación nutrición-reproducción, debido a que, la reproducción puede verse afectada por la insuficiencia de nutrientes en la dieta (Ospina, 2007; Vázquez-Armijo et al., 2011).

La etapa de transición es un periodo crítico para las ovejas, pues se enfrentan a grandes cambios metabólicos y endocrinos ocasionados por la etapa final de la gestación, el parto e inicio de lactancia (Campos, Correa, Zambrano, & Ospina, 2018). En esta etapa es importante tener un cuidado especial en la alimentación y manejo de las ovejas para evitar problemas metabólicos que impacten en la producción, reproducción y salud animal (Helguero, Garcia, & Triay, 2006). La alimentación y calidad de los alimentos ofrecidos tiene importantes consecuencias en el rendimiento y salud de los rumiantes, especialmente durante el periodo de transición (Zarrin, Sanginabadi, Nouri, Ahmadpour, & Hernández-Castellano, 2021). El uso de levaduras como aditivos en dietas de rumiantes estimula la fermentación ruminal y protege a las bacterias del rumen de daños oxidativos, además, aumenta el recuento viable de bacterias en el rumen (Newbold, Wallace, & McIntosh, 2007).

Las levaduras pueden acumular cantidades variables de minerales que están presentes en su medio de crecimiento y el contenido de cenizas en la biomasa varía de 7.5 a 8.1 % (Otero, Saura, & Martínez, 2008). Esta habilidad de las levaduras de acumular iones disponibles en el medio de crecimiento ofrece la oportunidad de manipular los niveles de contenido mineral presentes en su biomasa, para utilizarse como suplemento alimenticio. El selenio orgánico se absorbe más eficientemente que las formas inorgánicas (Neumann et al., 2016). El selenio es responsable de activar 25 selenoproteínas, entre las que se encuentra la glutathion peroxidasa (GPx) (Guillén-Poza, 2014). La enzima GPx

participa en las transformaciones reactivas del oxígeno, catalizando la reducción del peróxido utilizando como agente reductor a glutathione reductase (GSR) (Cisneros-Prego, Pupo-Balboa, & Céspedes-Miranda, 1997).

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) enriquecida con selenio en dietas de ovejas en transición sobre parámetros productivos y reproductivos de la oveja. En el Capítulo 2 se hace una revisión de literatura sobre las formas de administración de selenio en los rebaños, la etapa de transición y reproducción ovina. En el Capítulo 3, se presenta un artículo de revisión sobre la importancia del selenio en la reproducción de rebaños ovinos. El Capítulo 4 incluye los resultados obtenidos en este estudio, y las conclusiones obtenidas del trabajo de investigación.

1.1 Literatura citada

- Campos, R., Correa, A., Zambrano, G. L., & Ospina, A. (2018). Biochemical and metabolic disorders in the transition period in dairy cattle. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 165-179. <https://doi.org/10.22490/21456453.2123>
- Cisneros-Prego, E., Pupo-Balboa, J., & Céspedes-Miranda, E. (1997). Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: III. Glutación peroxidasa. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 16(1), 10-15.
- Guillén-Poza, P. A. (2014). *“Binge drinking” y suplementos de selenio: Efectos sobre la actividad y expresión de la glutación peroxidasa*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia-Universidad de Sevilla]. Consultada en <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/51123/C%29%20TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Helguero, P. S., Garcia, A., & Triay, M. A. (2006). Etapa de transición y la condición corporal después del parto. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 3(10), 1-7.
- Neumann, J., Ceballos, A., Chihuailaf, R., Böhmwald, H., Sepúlveda, M., Wittwer, F., & Quiroz, E. (2016). Efecto de la suplementación preparto con selenio levadura oral o selenato de bario parenteral en las concentraciones sanguíneas de selenio en vacas lecheras y sus crías. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48(1), 37-42.
- Newbold, C., Wallace, R., & Mcintosh, F. (1996). Modo de acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como aditivo alimentario para rumiantes. *British Journal of Nutrition*, 76(2), 249-261. doi: 10.1079 / BJN19960029
- Ospina, O. (2007). Interrelaciones entre nutrición y reproducción. Análisis y experiencia en campo. *Revista de Medicina Veterinaria*, 13, 39-47.
- Otero, M. A., Saura, G., & Martínez, J. A. (2008). Enriquecimiento de biomasa de levadura con micronutrientes esenciales. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 42(1-3), 60-68
- Vázquez-Armijo, J. F., Rojo, R., López, D., Tinoco, J. L., González, A., Pescador, N., & Domínguez-Vara, I. A. (2011). Trace Elements in Sheep and Goats Reproduction: A Review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 1-13.
- Zarrin, M., Sanginabadi, M., Nouri, M., Ahmadpour, A., & Hernández-Castellano L. E. (2021) Prepartum and Postpartum Feed Restrictions Affect Blood Metabolites and Hormones Reducing Colostrum and Milk Yields in Fat-Tailed Dairy Sheep. *Animals*, 11, 1258. <https://doi.org/10.3390/ani11051258>

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2. 1 Selenio

El selenio (Se) es un micronutriente esencial para los animales y las plantas. No obstante, su presencia en el suelo y forraje puede variar significativamente según la región geográfica.

La disponibilidad de Se en los suelos depende del tipo y textura del suelo, contenido de materia orgánica y precipitaciones (Mehdi, Hornick, Istasse, & Dufrasne, 2013). En el centro de México son comunes los suelos de origen volcánico, donde el azufre es abundante y causa interacciones negativas con Se, que ocasiona la baja o nula absorción de este último en la vegetación nativa, y por consiguiente, deficiencias en los pequeños rumiantes de la zona. El Se está presente en gramíneas y leguminosas en formas orgánicas como L-selenometionina, L-seleniocistina y L-selenocistationina, cuya absorción es mayor que las fuentes inorgánicas (Liao et al., 2010).

El Se es un elemento importante en la defensa antioxidante del organismo y es un componente estructural de la enzima glutatión peroxidasa (Mojaelo, Van Ryssen, & Lehloenya, 2021). Esta propiedad antioxidante permite soportar de manera eficiente el estrés en las células. Además, es esencial para la formación de selenocisteína (SeCys), un componente clave de las selenoproteínas (Vázquez-Armijo et al., 2011). Un problema muy común en las unidades de producción ovinas donde predominan los climas cálidos o se tienen temporadas del año con temperaturas elevadas, es el estrés por calor, lo cual puede reducir la disponibilidad y eficacia del selenio en el organismo de los animales, afectando su salud y desempeño productivo.

Las deficiencias de Se conduce a malos parámetros productivos y reproductivos en rebaños ovinos; algunas de las afectaciones más marcadas son abortos, retención de placentas, problemas de fertilidad y el debilitamiento de corderos recién nacidos (Irabuena, Sterla, & Fernández- Abella, 2021).

2.2 El Selenio orgánico

La aplicación de selenio en las unidades de producción ovinas se realiza por medio de mezclas minerales, soluciones inyectables de selenito de sodio, soluciones vía oral, bolos intraruminales y en el agua (López-Arellano et al., 2012). Las fuentes orgánicas de selenio más comunes se presentan en forma de quelatos (aminoácidos, proteínas) y la levadura enriquecida con selenio (selenio-levadura), mismas que presentan una mayor biodisponibilidad para los animales en comparación a las fuentes inorgánicas como el selenato y selenito de sodio (Vinchira, Wills, & Muñoz, 2014).

Los minerales traza son esenciales para las funciones estructurales y metabólicas de los animales, sin embargo, pueden producir modificaciones en la población microbiana (Pino & Heinrichs, 2016). Cui et al., (2021), evaluaron los efectos de la adición de levadura enriquecida con Se sobre la comunidad bacteriana y fermentación en ovejas tibetanas, y los resultados mostraron un aumento significativo de bacterias y actividad fermentativa al adicionar levadura enriquecida con Se.

2.3 El Selenio inorgánico

Normalmente el Se es adicionado en la alimentación animal en su forma inorgánica como selenito de sodio, es común su adición en su forma inorgánica en unidades de producción pecuarias, debido a un menor costo (Liao et al., 2010). El Se puede ser tóxico para los animales si no se realiza una adecuada formulación y mezclado de la dieta, su adición debe estar limitada y adecuada a los requerimientos del animal (Cruz et al., 2011).

2.4 El Selenio inyectado

Las deficiencias de selenio son muy marcadas en los sistemas de producción ovina en México, principalmente en la zona del centro de México, donde es comúnmente administrado vía parenteral, por consiguiente, resulta ser un problema al tener desconocimiento de la dosis adecuada, provocando pérdidas

económicas, la intoxicación del animal por exceso del mineral traza o en algunos casos la muerte (Ramírez-Bribiesca, Hernández-Camacho, Hernández-Calva, & Tortora-Pérez, 2004). Algunos estudios han demostrado que la aplicación de selenio inyectado mejora los parámetros reproductivos en el ganado de carne y leche (Arechiga, et al., 1998; Kommisrud, Østerås, & Iva, 2005). Los efectos benéficos de la administración de selenio inyectado pueden ser explicados por una mejora en la respuesta antioxidante del animal.

2.5 Fisiología de la reproducción en ovejas

El proceso de la reproducción está regulado por un mecanismo neuro-humoral presente en ambos sexos, inicia con cambios químicos como la síntesis de hormona liberadora de gonadotropinas, hormona foliculoestimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH), en diferentes lugares como el hipotálamo y la hipófisis, finalmente se manifiesta en el cortejo (Prieto-Gómez & Velázquez-Paniagua, 2002).

La actividad reproductiva en los ovinos es estacional, con ello las hembras buscan la supervivencia de sus crías, al buscar épocas del año con condiciones climáticas favorables, disponibilidad de pastos y temperaturas ambientales confortables (Arroyo, 2011). Los procesos de la pubertad y la madurez sexual inician antes del nacimiento, el hipotálamo es el principal participante de la transición a la madurez sexual; inicia con su maduración por una retroalimentación negativa del estradiol y el factor endocrino que regula el inicio de la pubertad en las ovejas es el aumento de la frecuencia de pulsos de LH (Kinder, Bergfeld, Wehrman, Peters, & Kojima, 1995).

El control de la actividad ovárica en las ovejas se basa en la utilización de los progestágenos o PGF₂ α (Prostaglandina F₂ α), además de las gonadotropinas hipofisarias y coriónicas; otros métodos de control incluyen el uso GnRH (hormona liberadora de gonadotropinas) y estrógenos (Azevedo, Valentin, & Correia, 2006).

2.6 Manejo reproductivo en ovejas

Para mejorar la eficiencia reproductiva del rebaño y la rentabilidad, se debe considerar la fertilidad y prolificidad (Martín, Ruiz-Mantecón, & Lavín, 2009). La fertilidad expresa el porcentaje de ovejas gestantes, del total expuestas a los sementales (Herrera, Jordán, & Senra, 2010). La prolificidad se define como el porcentaje de crías nacidas en relación con el total de hembras paridas (Bonilla, Torres, & Rubio, 1993).

2.7 Etapa de transición en ovejas

La etapa de transición en ovejas comprende treinta días antes del parto, el parto y treinta días después del parto (Figura 1). En este periodo las ovejas tienen una capacidad reducida de ingesta de alimento y alta demanda de energía para el crecimiento fetal (antes del parto), síntesis y producción de calostro (antes y después del parto) y por la producción de leche (después del parto), por lo que, afecta su peso vivo, condición corporal, y rendimiento de leche (Cabiddu et al., 2020; Zarrin et al., 2021), lo que conduce a un balance energético negativo (BEN) (Suárez, 2018).

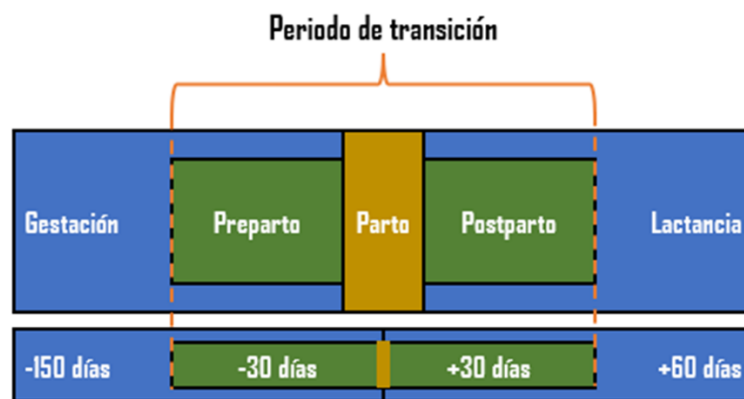


Figura 1. Periodo de transición de una oveja (Cabiddu et al., 2020; Zarrin et al., 2021).

2.8 Requerimientos de selenio en oveja gestante

El selenio es un micromineral esencial en los organismos animales, y se han detectado hasta 25 genes de selenoproteína que en su mayoría tienen como función proteger al tejido de daños oxidativos y la peroxidación, las enzimas tisulares como el superóxido dismutasa y la vitamina E reducen la peroxidación (Suttle, 2010).

La Unión Europea recomienda la suplementación máxima de levadura selenizada y L-selenometionina hasta 0.2 mg Se kg⁻¹ de alimento completo (Reglamento de Ejecución de la Comisión UE, 2013).

2.9 Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)

La levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) ha demostrado ser de gran utilidad por sus características nutricionales, además de ser un subproducto fácil de conseguir y económico (Suárez-Machín, Guevara-Rodríguez, & Amarilys, 2017). Esta levadura es un hongo unicelular heterótrofo, el cual obtiene su energía a partir de la glucosa (Querol, Belloch, Fernández-Espinar, & Barrio, 2003). Tiene un efecto fermentativo y probiótico, es un estabilizador en el pH del fluido ruminal, aumenta considerablemente la concentración de protozoos en el rumen y eleva la concentración sérica de glucosa, Ca, P, Cu, Zn y Mg (Doležal, et al., 2011).

Carpinelli et al. (2021), al complementar con un cultivo de levadura la alimentación de vacas en transición, indicaron una alteración en el ambiente ruminal, aumentaron las bacterias celulolíticas (*Fibrobacter succinogenes*) y algunas degradadoras de lactato como *Megasphaera elsdenii*. Duniere et al., (2021), concluyeron que la inclusión de levadura en dieta de ovejas en el periparto estabiliza el ambiente ruminal y reduce el estrés oxidativo al momento del parto. Bach et al. (2019), estudiaron el efecto en rumen y colon al adicionar levadura viva en dieta de vacas en transición, y revelaron que los beneficios de la adición de levadura viva en el ambiente ruminal son mayores antes del parto, sin embargo, en el colon son más constantes en la etapa de producción. Liu et al. (2021), demostraron que la suplementación diaria de 4 g animal⁻¹ de levadura

seca activa, induce cambios en la composición microbiana del rumen en bovinos para carne que se alimentan con una dieta baja en nutrientes, al registrarse un aumento de bacterias del filo *Ruminococcaceae*.

2.10 Literatura citada

- Aréchiga, C., Vázquez-Flores, S., Ortiz, O., Hernández-Cerón, J., Porra, A., McDowell, L., & Hansen, P. (1998). Effect of injection of beta-carotene or vitamin E and selenium on fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology*, 50(1), 65-76. doi: 10.1016/s0093-691x(98)00114-9
- Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 829-845.
- Azecedo, J., Valentin, R., & Correia, T. (2006). Control hormonal de la actividad ovárica en ovinos. *Albéitar*, 98, 6-8.
- Bach, A., López-García, A., González-Recio, O., Elcoso, G., Fábregas, F., Chaucheryras-Durand, F., & Castex, M. (2019). Changes in the rumen and colon microbiota and effects of live yeast dietary supplementation during the transition from the dry period to lactation of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6180-6198. doi: 10.3168/jds.2018-16105
- Cabiddu, A., Dattena, M., Decandia, M., Molle, G., Lopreiato, V., Minuti, A., & Trevisi, E. (2020). The effect of parity number on the metabolism, inflammation, and oxidative status of dairy sheep during the transition period. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8564-8575. doi: 10.3168/jds.2019-18114
- Carpinelli, N., Halfen, J., Trevisi, E., Chapman, J., Sharman, E., Anderson, J., & Osorio, J. (2021). Effects of peripartal yeast culture supplementation on lactation performance, blood biomarkers, rumen fermentation, and rumen bacteria species in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(10), 10727-10743. doi.org/10.3168/jds.2020-20002
- Cruz, R., Ramírez, E., Cobos, M., Revilla, A., Crosby, M., & Cordero, J. (2011). Disponibilidad de selenio complementado con selenito de sodio y selenometionina en corderos. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 21(1), 31-38.
- Cui, X., Wang, Z., Tan, Y., Chang, S., Zheng, H., Wang, H., Yan, T., Guru, T., & Hou, F. (2021). Selenium Yeast Dietary Supplement Affects Rumen Bacterial Population Dynamics and Fermentation Parameters of Tibetan Sheep (*Ovis aries*) in Alpine Meadow. *Frontiers in Microbiology*, 2 (12), 663945. doi: 10.3389/fmicb.2021.663945
- Doležal, P., Dvořáček, J., Doležal, J., Čermáková, J., Zeman, L., & Szwedzia, K. (2011). Effect of feeding yeast culture on ruminal fermentation and blood indicators of Holstein dairy cows. *Animal and Dairy Science*, 80, 139-145. doi:10.2754/avb201180020139

- Dunier, L., Esparteiro, D., Lebbaoui, Y., Ruiz, P., Bernard, M., Thomas, A., Durand, D., Forano, E., & Chaucheyras-Durand, F. (2021). Changes in Digestive Microbiota, Rumen Fermentations and Oxidative Stress around Parturition Are Alleviated by Live Yeast Feed Supplementation to Gestating Ewes. *Journal of Fungi*, 4(7), 447. doi: 10.3390/jof7060447
- Herrera, J., Jordán, H., & Senra, A. F. (2010). Aspectos del manejo y alimentación de la reproductora ovina Pelibuey en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44, 211-219.
- Irabuena, O., Sterla, S., & Fernández-Abella, D. (2021). Suplemento de selenio y zinc en la cubrición y parto de ovejas Merino Australiano. *Archivos de Zootecnia*, 70, 270-275.
- Kinder, J., Bergfeld, E., Wehrman, M., Peters, K., & Kojima, F. (1995). Endocrine basis for puberty in heifers and ewes. *Journal of reproduction and fertility supplement*, 49, 393-407.
- Kommisrud, E., Østerås, O., & IVA, T. (2005). Blood selenium associated with health and fertility in norwegian dairy herds. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 46(229). doi.org/10.1186/1751-0147-46-229
- Liao, S., Brown, K., Stromberg, A., Burris, W., Boling, J., & Matthews, J. (2011). Dietary supplementation of selenium in inorganic and organic forms differentially and commonly alters blood and liver selenium concentrations and liver gene expression profiles of growing beef heifers. *Biological trace element research*, 140, 151-169.
- Liu, S., Shah, A., Yuan, M., Kang, K., Wang, L., Xue, B., Zou, H., Zhang, X., Yu, P., Wang, H., Tian, G., & Peng, Q. (2022). Effects of dry yeast supplementation on growth performance, rumen fermentation characteristics, slaughter performance and microbial communities in beef cattle. *Animal Biotechnology*, 33(6), 1150-1160.
- Martín, S., Ruiz-Mantecón, A., & Lavín, M. (2009). Manejo reproductivo y gestión técnico-económica. *Mundo Ganadero*, 221; 56-60.
- Mehdi, Y., Hornick, J-L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 18(3), 3292–3311.
- Mojapelo, M., Van Ryssen, J., & Lehloenya, K. (2021). Selenium supplementation reduces induced stress, enhances semen quality and reproductive hormones in Saanen bucks. *Small Ruminant Research*, 201, 106443.
- NRC. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pino, F., & Heinrichs, A. (2016). Effect of trace minerals and starch on digestibility and rumen fermentation in diets for dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2797-2810. doi.org/10.3168/jds.2015-10034

- Prieto-Gómez, B., & Velázquez-Paniagua, M. (2002). Fisiología de la reproducción hormona liberadora de gonadotrofinas. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 6, 252-257.
- Querol, A., Belloch, C., Fernandez-Espinar, M., & Barrio, E. (2003). Molecular evolution in yeast of biotechnological interest. *International Microbiology*, 6, 201-205. doi: 10.1007/s10123-003-0134-z
- Raisbeck, M. (2020). Selenosis in ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36, 775-789.
- Ramírez-Bribiesca, E., Hernández-Camacho, E., Hernández-Calva, L., & Tórtora-Pérez, J. (2004). Efecto de un suplemento parental con selenito de sodio en la mortalidad de corderos y los valores hemáticos de selenio. *Agrociencia*, 38, 43-51.
- Reglamento de Ejecución (UE) n.º 427/2013 de la Comisión relativo a la autorización de la selenometionina producida por *Saccharomyces cerevisiae* NCYC R646 como aditivo en piensos para todas las especies animales y que modifica los Reglamentos (CE) n.º 1750/2006, (CE) n.º 634/2007 y (CE) n.º 900/2009 en lo que respecta a la suplementación máxima con levadura selenizada. (2013). *Journal Euro Unión*, 127, 20–22.
- Suárez, Z. (2018). Evaluación de biocolina sobre parámetros productivos en el periodo de transición de ovejas Easts Friesian. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí Facultad de Agronomía y Veterinaria).
- Suárez-Machis, C., & Guevara-Rodríguez, C. (2017). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), 21-30.
- Suttle, N. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. (4th Edition). CABI Head Office.
- Ventura, M., Melo, M., & Carrilho, F. (2017). Selenium and Thyroid Disease: From Pathophysiology to Treatment. *International Journal of Endocrinology*, 1297658. doi: 10.1155/2017/1297658
- Vinchira, J., Wills, G., & Muñoz, A. (2014). Desempeño productivo, composición y biodisponibilidad relativa de selenio en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) suplementada con selenio orgánico e inorgánico. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 61(2), 186-202.

3 SELENIO EN LA REPRODUCCIÓN DE OVINOS¹

3.1 Resumen

En los rebaños ovinos la nutrición es un factor importante para una producción eficiente, aunque otros factores también influyen en la misma. La relación entre la nutrición y la reproducción es fundamental, ya que una alimentación adecuada es esencial para garantizar una reproducción eficiente y un buen rendimiento productivo. La carencia de nutrientes puede impactar negativamente en la calidad del semen, la fertilidad y la tasa de concepción, lo que a su vez puede afectar la producción de carne y leche. La suplementación de minerales traza, incluyendo el selenio, tiene un impacto positivo en la producción animal. El selenio actúa como un antioxidante en el organismo, ya que ayuda a proteger las células de daño oxidativo y fortalece el sistema inmune. Para la suplementación adecuada del elemento selenio en la dieta de ovinos se debe tener en cuenta el nivel de selenio en el organismo de los animales para determinar la cantidad de suplemento que necesitan, también se debe de analizar el nivel de selenio presente en el suelo y en los cultivos para determinar si los animales reciben la cantidad adecuada en su alimentación y por último es importante tener en cuenta la forma de selenio a utilizar, ya que se puede encontrar de diferentes formas, como selenito y selenato (inorgánico) o selenometionina y seleniocisteína (orgánico). La elección de la forma adecuada dependerá de varios factores, como el tipo de cultivo, la edad y la salud del animal, y el objetivo de la suplementación.

Palabras clave: Nutrición, reproducción, selenio, ovinos.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Arturo Paulino Sánchez Payán

Director: Carlos Sánchez del Real; Codirector: Jaime Gallegos Sánchez

SELENIUM IN SHEEP REPRODUCTION¹

3.2 Abstract

In sheep herds, nutrition is an important factor for efficient production, although other factors also influence it. The relationship between nutrition and reproduction is fundamental, as adequate nutrition is essential to ensure efficient reproduction and good productive performance. Nutrient deficiency can negatively impact semen quality, fertility, and conception rate, which in turn can affect meat and milk production. Supplementation of trace minerals, including selenium, has a positive impact on animal production. Selenium acts as an antioxidant in the body, helping to protect cells from oxidative damage and strengthening the immune system. For the adequate supplementation of the element selenium in the diet of sheep, the level of selenium in the body of the animals must be taken into account to determine the amount of supplement they need, the level of selenium present in the soil and in the crops must also be analyzed to determine if the animals receive the adequate amount in their diet and finally it is important to take into account the form of Selenium to use as it can be found in different forms, such as selenite and selenate (inorganic) or selenomethionine and selenocysteine (organic). The choice of the appropriate form will depend on several factors, such as the type of crop, the age and health of the animal, and the goal of supplementation.

Key words: Nutrition, reproduction, selenium, sheep.

¹Master of Science Thesis in Livestock Innovation. Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Arturo Paulino Sánchez Payán

Advisor: Carlos Sánchez del Real; Co-advisor: Jaime Gallegos Sánchez

3.3 Introducción

Un indicador de buena producción en los rebaños es la eficiencia reproductiva, para lograr este objetivo hay que tener en cuenta la relación nutrición-reproducción. La adición de minerales esenciales en la dieta de los animales mejora la eficiencia reproductiva (Ahola, Panadero, & Quemaduras, 2005; Chester-Jones et al., 2013). El selenio (Se) es esencial para la salud de los animales, ya que ayuda a prevenir enfermedades cardíacas, mejora la reproducción y aumenta la resistencia al estrés. Sin embargo, la ingesta de Se puede ser insuficiente en algunas áreas geográficas debido a niveles bajos en el suelo y en el forraje (Suttle, et al., 2010). En la zona del centro de México los niveles de Se presentes en suelos y forrajes son deficientes (Díaz-Zarco, Montes-de-Oca-Jiménez, & Rodríguez-Domínguez, 2022; Ramírez-Bribiesca, Tórtora, Huerta, Aguirre, & Hernández, 2001). La deficiencia de Se puede causar una serie de problemas reproductivos como la disminución de la fertilidad, aumento de la mortalidad fetal, retraso en el desarrollo del feto y bajos pesos al nacer (Hemingway, 2003).

En la industria pecuaria hay fuentes de Se orgánico e inorgánico, ambas pueden mejorar la salud y reproducción de los animales, pero es importante seguir las regulaciones de suplementación. Una correcta suplementación de Se puede tener un efecto positivo en la fertilidad, aumentando la cantidad de crías nacidas sanas y disminuyendo la frecuencia de enfermedades. Debido a esto, es esencial comprender la relevancia del Se en la reproducción de ovinos y cómo afecta la industria ovina. Este artículo de revisión tiene como objetivo proporcionar información valiosa sobre el Se para aquellos involucrados en la crianza y el cuidado de ovinos.

3.3.1 Selenio inorgánico

A pesar de la disponibilidad de suplementos de minerales que incluyen Se, se ha notado que algunos bovinos y ovinos no presentan niveles óptimos de Se, a pesar de recibir suplementos tradicionales de Se inorgánico. Esto se puede deber a una

ingesta insuficiente o a una baja eficacia de las fuentes de Se inorgánico utilizadas (Galbraith et al., 2015) El selenito de sodio (Na_2SeO_3) es utilizado comúnmente como fuente de Se en la alimentación de rumiantes, pero su uso y manipulación son limitados debido al riesgo de toxicidad si no se mezcla correctamente en las sales o el alimento (Cruz-Monterrosa, Ramírez-Bribiesca, Cobos-Peralta, Revilla-Vázquez, Crosby-Galván, & Cordero-Mora, 2011). En un estudio realizado por Revilla-Vázquez et al. (2008), se evaluó una alternativa para suplementar Se a corderos y ovinos adultos: bolos intrarruminales de Na_2SeO_3 con otros ingredientes para controlar su liberación y mantener su forma. Los resultados mostraron que los bolos liberaron Se sin cambiar el pH del rumen en los corderos, y aumentaron las concentraciones de Se en la sangre en los adultos ovinos en 60 y 90 días. Se concluyó que los bolos intrarruminales son una forma adecuada y confiable de suplementar Se en ovinos.

3.3.2 Selenio orgánico

El Se orgánico puede ser administrado a través de cultivos de levadura, los cuales suelen contener selenocisteína; se ha informado que en esta forma tiene una mejor disponibilidad. La selenometionina es la forma predominante de Se encontrada en los cereales y cultivos forrajeros (Cruz-Monterrosa et al., 2011; Vignola et al., 2009). En un estudio realizado por Arzola, Segovia, Ruiz, Salinas-Chavira, Rodríguez-Muela y Jiménez (2010) se evaluó la degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS) y cinética ruminal de las fracciones sólida y líquida de dietas con dos fuentes de Se (inorgánico y orgánico) en ovinos; los resultados no mostraron diferencias en la degradabilidad de MS, pero sí en los parámetros de degradación. La cinética de la fracción sólida mostró diferencias en tasas de pasaje y salida de material fecal, mientras que la fracción líquida mostró diferencias en todos los parámetros. La fuente de Se influye en los parámetros ruminales y el Se orgánico es superior.

3.3.3 Selenio inyectado

La inyección de selenito o selenato de sodio solo tiene un efecto temporal en los niveles de Se en la sangre. El Se se integra en distintos tejidos del cuerpo, en particular en la fracción proteica (Neumann et al., 2016). Sin embargo, al administrar selenato de bario en aceite mediante una inyección, se obtiene un efecto más prolongado en los niveles de Se, pero esto puede conllevar problemas potenciales de acumulación en los tejidos del animal (Hemingway, 2003). En un estudio realizado por Gwazdauskas, Bibb, McGilliard y Lineweaver (1976) se evaluó el impacto de una sola inyección de una combinación de Se y vitamina E que contenía 21.9 mg de selenito de sodio en el tiempo de expulsión de la placenta después del parto y en el desempeño reproductivo y de lactancia posterior. Los resultados mostraron que esta dosis de Se-vitamina E no tuvo un efecto significativo en el tiempo de expulsión de la placenta, no disminuyó la dificultad del parto, no aumentó el número de celos antes de la primera inseminación, no disminuyó los días abiertos o servicios por concepción, ni aumentó la producción de leche en la lactancia siguiente.

3.3.4 La glutatión peroxidasa

La glutatión peroxidasa (GPX) es una importante enzima antioxidante celular que se encuentra en el citoplasma y las mitocondrias de las células de los mamíferos. Existen ocho glutatión peroxidases, de las cuales cinco son enzimas de selenocisteína (GPX1, GPX2, GPX3, GPX4 y GPX6), mientras que las restantes tres (GPX5, GPX7 y GPX8) contienen cisteína en su lugar catalítico (Dalgaard, Briensb, Engberg, & Lauridsen, 2018). Como la mayoría de las selenoenzimas, tiene un solo aminoácido de selenocisteína sensible a redox que juega un papel crucial en la reducción enzimática del peróxido de hidrógeno y los hidroperóxidos de lípidos solubles (Figura 2) (Handy & Loscazo, 2022). La estructura de esta enzima incluye Se, lo que permite una fuerte relación entre los niveles de Se en sangre, tejidos y la actividad de GPX (Ceballos, Wittwer, Contreras, Quiroz, & Böhmwald, 1999).

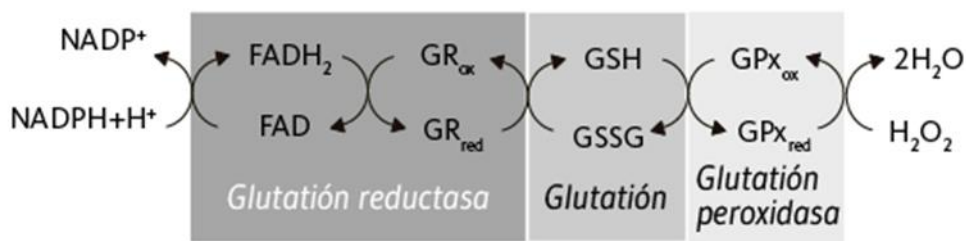


Figura 2. Sistema glutatión peroxidasa (Linus Pauling Institute, 2023).

3.3.5 Efecto de selenio en la fertilidad de la oveja

La importancia del Se en la reproducción de ovinos se debe a su papel en la superovulación y los nacimientos múltiples, su implicación en el transporte de espermatozoides y el establecimiento de óvulos (Hemingway, 2003). La administración de Se y vitamina E junto con Gonadotropina coriónica equina (eCG) puede ser una estrategia efectiva para mejorar la sincronización de estros y la homogenización de la presentación en un menor tiempo en ovejas, sin disminuir la eficiencia reproductiva (Fraire-Cordero, Pró-Martínez, Ramírez-Valverde, Sánchez-del-Real, & Gallegos-Sánchez, 2013).

3.3.6 Efectos de selenio en el crecimiento de corderos

La mayor tasa de mortalidad en corderos sucede durante el período perinatal y neonatal, ya que más de la mitad ocurren en la primera semana de vida (Ramírez-Bribiesca, Hernández-Camacho, Hernández-Calva, & Tórtora-Pérez, 2004). En este período, el Se es uno de los minerales más esenciales. La falta de selenio causa la enfermedad del músculo blanco (DMN) (Carbajal-Hermosillo, Aquí-Quintero, & Díaz-Gutiérrez, 2013). Las lesiones que indican la presencia de DMN incluyen fascículos pálidos en los músculos estriados del diafragma, corazón, miocardio subendocárdico, así como en la base de las valvas y en las extremidades posteriores (Ramírez-Bribiesca et al., 2004). Esta enfermedad puede afectar negativamente la rentabilidad de la explotación ovina. La suplementación de Se previene la enfermedad y mejora la salud de los animales, lo que aumenta la tasa de supervivencia y productividad, además, reduce costos

médicos y mejora la calidad de la carne y la lana, aumentando la rentabilidad para los productores de ovinos.

En un estudio realizado por Cruz-Monterrosa et al. (2011), se evaluó la suplementación de Se en la función digestiva de corderos, los resultados indicaron que ambas fuentes de suplemento de Se, Na_2SeO_3 y selenometionina, mejoraron la tasa de pasaje del Se al intestino delgado y no hubo diferencias en la absorción y digestibilidad. Por otra parte, Ramírez-Bribiesca et al. (2004) compararon la eficacia de inyecciones de Se en corderos de entre 3 y 7 días de edad, nacidos de madres con deficiencia de Se, se observó un aumento significativo en la concentración de Se en la sangre de los corderos y ambas dosis (0.25 y 0.5 mg kg^{-1}) fueron efectivas para prevenir la DMN y mejorar la tasa de supervivencia hasta el destete.

3.3.7 Efecto de selenio en la fertilidad de carneros

El Se es un mineral importante para la salud de los carneros. La deficiencia puede causar problemas de reproducción, crecimiento y sistema inmunológico (Proietti et al., 2018). Por lo que la suplementación de Se es una práctica importante para mejorar la producción y la salud de los carneros. En un estudio realizado por Carrillo-Nieto (2017) se evaluó el efecto de un bolo de Na_2SeO_3 en carneros de dos razas (Hampshire y Suffolk) en la época reproductiva. Los resultados mostraron un aumento de la actividad GPHx, y movilidad y viabilidad del espermatozoide en ambas razas. Díaz-Díaz (2020) evaluó el impacto de la suplementación con minerales Selenio y Cromo orgánicos en la calidad y el crecimiento testicular de ovinos. Los resultados indicaron mejoras en la movilidad y concentración de espermatozoides, así como una reducción de anomalías espermáticas. Se concluyó que estos minerales pueden mejorar la calidad del semen y el crecimiento testicular en ovinos.

El Se puede interactuar con otros minerales en el organismo, es importante tener en cuenta estas interacciones al considerar suplementos minerales y mantener un equilibrio adecuado de estos minerales en el cuerpo. De acuerdo con Shi,

Wang, Duan, Li y Ren (2022), el plomo (Pb) en exceso puede disminuir la testosterona, por consecuencia a una afectación directa a las células de Leydig, además, la administración de Se puede mejorar estado antioxidante y reducir el estrés oxidativo al actuar como antagonista sobre el exceso de Pb.

3.4 Conclusiones

La relación entre nutrición y reproducción es importante para mejorar la eficiencia reproductiva en rebaños de ovejas. El Se es un mineral esencial que mejora la salud y reproducción de los animales, pero puede ser insuficiente en algunas áreas debido a niveles bajos en suelo y forraje. En la zona central de México, la deficiencia de Se puede causar problemas reproductivos como disminución de la fertilidad y aumento de la mortalidad fetal. La suplementación adecuada de Se puede tener un impacto positivo en la fertilidad y disminuir la frecuencia de enfermedades. Por lo tanto, es importante comprender la relevancia del Se en la reproducción de ovinos y seguir las regulaciones de suplementación para obtener resultados positivos en la industria ovina.

3.5 Literatura citada

- Ahola, J., Panadero, D., Quemaduras, Whitter, J., & Engle, T. (2005). Effects of Copper, Zinc, and Manganese Source on Mineral Status, Reproduction, Immunity, and Calf Performance in Young Beef Females over a Two-Year Period. *The Professional Animal Scientist*, 21(4), 297-304. doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31221-3
- Arzola, C., Segovia, J., Ruiz, O., Salinas-Chavira, J., Rodríguez-Muela, C., & Jiménez, J. (2010). Influence of organic or inorganic selenium in diets on *in situ* drymatter degradability and ruminal kinetics in sheep. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 16(1), ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/606
- Carbajal-Hermosillo, M., Aquí-Quintero, G., & Díaz-Gutiérrez, C. (2013). Uso de selenio en ovinos. *Abanico Veterinario*, 3(1), 44-54.
- Carrillo-Nieto, O. (2017). *Efectos 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 de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Consultada en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68548>
- Ceballos, A., Wittewer, F., Contreras, P., Quiroz, E., & Böhmwald. H. (1999). Blood activity of glutathione peroxidase and its correlation with blood selenium

- concentration in grazing dairy cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(12), 2331-2338. doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200020
- Chester-Jones, H., Vermeire, D., Brommelsiek, W., Roto, K., Marx, G., & Linn, J. (2013). Effect of trace mineral source on reproduction and milk production in Holstein cows. *The Profesional Animal Scientist*, 29(3), 289-297. doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30235-7
- Cruz-Monterrosa, R., Ramírez-Bribiesca, E., Cobos-Peralta, M., Revilla-Vázquez, A., Crosby-Galván, M., & Cordero-Mora, J. (2011). Disponibilidad de selenio complementado con selenito de sodio y selenometionina en corderos. *Revista Científica Universidad del Zulia Venezuela*, 21(1), 31-38.
- Díaz-Díaz, F. (2020). *Efecto de los microelementos selenio y cromo orgánicos en el crecimiento testicular y calidad del semen de ovinos jóvenes*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Consultada en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109758>.
- Díaz-Zarco, S., Montes-de-Oca-Jiménez, R., & Rodríguez-Domínguez, M. (2022). Niveles de Selenio en suelo, pasto y en ovejas: Influencia del suplemento de Selenio en la concentración de IgG en ovejas gestantes y corderos. *Terra Latinoamericana*, 40, 950. doi.org/10.28940/terra.v40i0.950
- 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. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 29(1), 33-44.
- Galbraith, M., Vorachek, W., Estill C., Whanger, P., Bobe, G, Davis, T., & Hall, J. (2016). Rumen Microorganisms Decrease Bioavailability of Inorganic Selenium Supplements. *Biological Trace Element Research*, 171(2), 338-343. doi: 10.1007/s12011-015-0560-8. Epub 2015 Nov 5. PMID: 26537117
- Gwazdauskas, F., Bibb, T., McGilliard, M., & Lineweaver, J. (1976). Effect of prepartum selenium-vitamin E injection on time for placenta to pass and on productive functions. *Journal of Dairy Science*, 62(6): 978-981. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(79)83357-3
- Handy, D., & Loscazo, J. (2022). The role of glutathione peroxidase-1 in health and disease. *Free Radical Biology and Medicine*, 188, 146-161. doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.06.004
- Hemingway, R. (2003). The influences of dietary intakes and supplementation with selenium and vitamin E on reproduction diseases and reproductive efficiency in cattle and sheep. *Veterinary Research Communications*, 27(2), 159-174. doi: 10.1023/a:1022871406335
- Proietti, P., Trabalza, M., Del Pino, A., D'Amato, R., Regni, L., Acuti, G., Chiaradia, E., & Palmerini, C. (2018). Selenium maintains Ca²⁺ homeostasis in sheep lymphocytes challenged by oxidative stress. *Plos One*, 13(7). doi: 10.1371/journal.pone.0201523. PMID: 30059547; PMCID: PMC6066243

- Ramírez-Bribiesca, E., Hernández-Camacho, E., Hernández-Calva, L., & Tórtora-Pérez, J. (2004). Efecto de un suplemento parenteral con selenito de sodio en la mortalidad de corderos y los valores hemáticos de selenio. *Agrociencia*, 38(1), 43-51
- Ramírez-Bribiesca, E., Tórtora, J., Huerta, M., Aguirre, A., & Hernández, L. (2001). Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican plateau. *Small Ruminant Research*, 41, 81-85.
- Revilla-Vázquez, A., Ramírez-Bribiesca, E., López-Arellano, R., Hernández-Calva, L., Tórtora-Pérez, J., García-García, E., & Cruz Monterrosa, R. (2008). Suplemento de selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. *Agrociencia*, 42(6), 629-635.
- Shi, L., Wang, X., Duan, Y., Li, K., & Ren, Y. (2022). Antagonistic effects of selenium on lead-induced oxidative stress and apoptosis of Leydig cells in sheep. *Theriogenology*, 185, 43-49.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzonea, G., Giammarco, M, Tassinari, M., Martelli, G., & Bertin, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*, 81(4), 678-685. doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.009

4. EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES FUENTES DE SELENIO SOBRE ACTIVIDAD REPRODUCTIVA EN OVEJAS DE TRANSICIÓN¹

4.1 Resumen

Con el fin de evaluar el efecto del selenio en la reproducción de ovejas en la etapa de transición, se ofrecieron diferentes dietas que contenían selenio de dos fuentes distintas: orgánica e inorgánica. Para llevar a cabo el estudio se utilizaron 33 hembras, las cuales se dividieron en tres tratamientos: tratamiento 1 (control, en el cual se aplicó selenio inyectado), tratamiento 2 (selenito de sodio como fuente inorgánica de selenio) y tratamiento 3 (levadura enriquecida con selenio como fuente orgánica de selenio). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para la variable tiempo al estro y el procedimiento Tukey para la comparación de medias. Los resultados mostraron que el tratamiento con selenio inyectado presentó un menor tiempo en la aparición de estros ($p < 0.05$) en comparación con las otras dos fuentes de selenio. Por otro lado, las variables respuesta al estro, fertilidad y fecundidad fueron analizadas mediante una prueba no paramétrica (Kruskal Wallis) para cada una, no encontrando diferencias significativas ($p > 0.05$). Además, se analizó la variable productiva de peso vivo final mediante PROC GML y se compararon las medias con la prueba de Tukey, y se encontró que esta variable no fue afectada por los tratamientos ($p > 0.05$). En general, se demostró un efecto positivo en la reproducción en todas las formas de selenio probadas, lo que sugiere que el selenio es un nutriente esencial para mejorar los parámetros reproductivos en ovejas en la etapa de transición.

Palabras clave: selenio, reproducción, alimentación, fertilidad.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Arturo Paulino Sánchez Payán

Director: Carlos Sánchez del Real; Codirector: Jaime Gallegos Sánchez

EFFECT OF THE ADDITION OF DIFFERENT SOURCES OF SELENIUM ON REPRODUCTIVE ACTIVITY IN TRANSITIONAL EWES¹

4.2 Abstract

In order to evaluate the effect of selenium on sheep reproduction in the transition stage, different diets containing selenium from two different sources were offered: organic and inorganic. To carry out the study, 33 females were used, which were divided into three treatments: treatment 1 (control, in which injected selenium was applied), treatment 2 (sodium selenite as an inorganic source of selenium) and treatment 3 (yeast enriched with selenium as an organic source of selenium). A completely randomized experimental design was used for the variable time to estrus and a comparison of Tukey means was performed. The results showed that the treatment with injected selenium had a shorter time to the onset of estrus ($p < 0.05$) compared to the other two sources of selenium. On the other hand, the variables response to estrus, fertility and fecundity were analyzed using a nonparametric test (Kruskal Wallis) for each, finding no significant differences ($p > 0.05$). In addition, the final liveweight production variable was analyzed by PROC GML and the means were compared with Tukey's test, and it was found that this variable was not affected by the treatments ($p > 0.05$). Overall, a positive effect on reproduction was demonstrated in all forms of selenium tested, suggesting that selenium is an essential nutrient for improving reproductive parameters in sheep in the transition stage.

Key words: Selenium, reproduction, feeding, fertility.

¹Master of Science Thesis in Livestock Innovation. Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Arturo Paulino Sánchez Payán

Advisor: Carlos Sánchez del Real; Co-advisor: Jaime Gallegos Sánchez

4.3 Introducción

La eficiencia reproductiva es un indicador de buena producción en los sistemas ganaderos ovinos. La función reproductiva de la hembra está fuertemente influenciada por la nutrición (D'Ochchio, Baruselli, & Campanile, 2019). La deficiencia o el exceso de un nutriente en particular puede ocasionar un desequilibrio nutricional y en consecuencia, se afecta el rendimiento reproductivo (España, Lucy, & Hardin, 2007). El selenio (Se) es un micromineral esencial para los humanos y animales, es necesario para formación de selenoproteínas que están involucradas en el mantenimiento del equilibrio redox celular (Shi, Wang, Duan, Li, & Ren, 2022). La capacidad antioxidante del Se ayuda a combatir los efectos del estrés oxidativo (López, Miranda, & Quero, 2018), es un regulador de las enzimas glutatión peroxidasa (GSH-Px), superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), encargadas de la proliferación y apoptosis de las células germinales (Shi, Wang, Duan, Li, & Ren, 2022). En los rebaños, la suplementación de Se es ampliamente utilizada para corregir problemas reproductivos, sin embargo, suplementar por arriba de las recomendaciones o en animales con deficiencias nutrimentales no proporciona beneficios reproductivos (España et al., 2007). Irabuena, Sterla y Fernandez (2021) demostraron efectos positivos sobre la fertilidad al adicionar un suplemento de selenio y zinc a ovejas Merinas; en cambio, Cabrera-Mora, Miranda-Jiménez, Herrera-Haro y Osorio-Ávalos (2019), cuando suplementaron selenio orgánico por siete días antes de la inseminación artificial, observaron que no influyó en la concentración de progesterona y la tasa de concepción. El efecto de la suplementación de Se en la reproducción de ovejas tiene resultados variables, por lo que se requieren más estudios que demuestren sus beneficios. En el presente estudio, se buscó evaluar el efecto de la adición de diferentes fuentes de Se en la dieta de ovejas durante todo el periodo de transición, desde el parto hasta el postparto, y durante los dos meses posteriores, que abarcaron toda la crianza de los corderos, sobre parámetros reproductivos como respuesta al estro, tiempo al estro, fertilidad y fecundidad.

4.4 Materiales y métodos

El experimento tuvo lugar en las instalaciones del Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCA) del Colegio de Postgraduados, situado en el Km 36.5 de la carretera federal México-Texcoco, en Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México. Las coordenadas geográficas de la zona son 19° 48' 23" N y 98° 48' 27" O. La región se caracteriza por un clima templado subhúmedo clasificado como C (Wo) (w) b (í) g, con lluvias en verano, una temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación anual de 636.5 mm (García, 1988).

Duración del experimento. La fase experimental inició el 15 agosto 2021, y terminó el 13 de diciembre de 2021, comprendiendo un período de 120 días.

Manejo de ovejas. Se usaron 33 ovejas en el último tercio de gestación, con un peso promedio de 35±1 kg. Las ovejas fueron desparasitadas (ivermectina; 1 ml cada 50 kg de PV) y vacunadas (bacterina 8 vías; 2.5 ml por oveja). Las ovejas fueron alojadas en tres corrales con capacidad de 11 ovejas por corral, posteriormente se asignaron al azar a uno de tres tratamientos.

Tratamientos. Se evaluaron tres tratamientos. Tratamiento 1 (T1), dieta base más la aplicación de 1 ml de Se inyectado (V-E-SELENIO[®] Bio Medica, 1 ml por 50 kg de peso vivo equivalente a 0.016 mg por kg de peso vivo de selenito de sodio), administrado al momento del inicio del experimento; tratamiento 2 (T2), dieta base más selenito de sodio; tratamiento 3 (T3), dieta base más levadura enriquecida con Se (Bioways Selenio[®] Biotecap, con 2000 ppm por kg y dosis de 200 g por tonelada de alimento terminado).

Manejo de la alimentación. Del día 120 de acuerdo con registros de avance gestacional de las ovejas (inicio del experimento) hasta el parto, a las ovejas se les ofreció 0.5 kg de concentrado diario por oveja (Cuadro 1) de concentrado energético proteínico (Cuadro 2; Cuadro 3) para mejorar la condición corporal, complementando con heno de alfalfa y heno de avena (Cuadro 4). La dieta de lactación se ofreció durante 75 días después del parto; además de ofrecer 0.75

kg de concentrado por oveja (Cuadro 5), complementando con heno de alfalfa y heno de avena.

Cuadro 1. Alimentación diaria (kg) de las ovejas durante el periodo de gestación.

Insumo	Selenio inyectado	Selenio inorgánico	Selenio orgánico
Heno de alfalfa	0.500	0.500	0.500
Heno de avena	0.500	0.500	0.500
Concentrado tratamiento 1	0.500		
Concentrado tratamiento 2		0.500	
Concentrado tratamiento 3			0.500
Suma	1.500	1.500	1.500

La dieta del tratamiento 1 (inyección de Se) no contenía Se de ninguna fuente, ni inorgánica u orgánica. El tratamiento 2 (Se inorgánico) contenía Se en forma inorgánica como selenito de sodio. El tratamiento 3 (levadura de Se) contenía Se en forma orgánica, con levadura enriquecida con Se (Bioways Se).

Cuadro 2. Concentrado ofrecido a las ovejas del experimento.

Ingrediente	Contenido (% Base tal cual)
Maíz molido	60.0
Grasa de sobrepaso vegetal	1.6
Melaza	5.0
Pasta de soya	12.4
Salvado de trigo	15.0
CaCO ₃	1.0
Urea	1.0
Sal mineral*	3.0

*La sal mineral que se adicionó en el concentrado fue similar para todos los tratamientos cambiando solo en la fuente de Se que se utilizó.

Cuadro 3. Composición nutritiva (NRC, 2007) estimada de los concentrados experimentales.

Nutrimiento	Unidad	Selenio inyectado	Selenio inorgánico	Selenio orgánico
Materia seca	%	87.2	87.2	87.2
energía	Mcal kg ⁻¹	2.9	2.9	2.9
Metabolizable				
proteína Cruda	%	18.4	18.4	18.4
proteína No	%	3.6	3.6	3.6
Degradable en				
Rumen				
proteína Degradable	%	4.8	4.8	4.8
en Rumen				
Fibra Cruda	%	3.7	3.7	3.7
Fibra Detergente	%	3.9	3.9	3.9
Ácido				
Fibra Detergente	%	12.6	12.6	12.6
Neutro				
Grasa	%	3.5	3.5	3.5
Ceniza	%	2.4	2.4	2.4
Vitamina A	UI kg ⁻¹	1022.1	1022.1	1022.1
Vitamina D	UI kg ⁻¹	85.1	85.1	85.1
Vitamina E	UI kg ⁻¹	2285.8	2285.8	2285.8
Calcio	%	1.2	1.2	1.2
Cloro	%	1.4	1.4	1.4
Magnesio	%	0.7	0.7	0.7
Sodio	%	0.5	0.5	0.5
Fósforo	%	0.7	0.7	0.7
Azufre	%	0.1	0.1	0.1
Cobalto	Ppm	2.3	2.3	2.3
Cobre	Ppm	7.5	7.5	7.5
Hierro	Ppm	250.3	250.3	250.3
Yodo	Ppm	3.6	3.6	3.6
Manganeso	Ppm	199.8	199.8	199.8
Selenio	Ppm	0.114	0.158	0.188
Zinc	Ppm	24.2	24.2	24.2

Nota: La composición nutritiva de los concentrados experimentales fue similar de acuerdo con los tratamientos: para el tratamiento Se inyectado no se adicionó ninguna fuente de Se en la premezcla mineral, solo se considera el Se presente en los ingredientes de la dieta.

Cuadro 4. Composición nutritiva (NRC, 2007) estimada de las dietas experimentales.

Nutrimiento	Unidad	Selenio inyectado	Selenio inorgánico	Selenio orgánico
Materia seca	%	89.1	89.1	89.1
Energía Metabolizable	Mcal kg ⁻¹	2.3	2.3	2.3
Proteína Cruda	%	16.4	16.4	16.4
Proteína No Degradable en Rumen	%	2.4	2.4	2.4
Proteína Degradable en Rumen	%	4.2	4.2	4.2
Fibra Cruda	%	18.8	18.8	18.8
Fibra Detergente Ácido	%	12.7	12.7	12.7
Fibra Detergente Neutro	%	23.0	23.0	23.0
Grasa	%	3.5	3.5	3.5
Ceniza	%	3.1	3.1	3.1
Vitamina A	UI kg ⁻¹	334.3	334.3	334.3
Vitamina D	UI kg ⁻¹	27.8	27.8	27.8
Vitamina E	UI kg ⁻¹	747.7	747.7	747.7
Calcio	%	1.0	1.0	1.0
Cloro	%	0.5	0.5	0.5
Magnesio	%	0.2	0.2	0.2
Sodio	%	0.2	0.2	0.2
Fósforo	%	0.3	0.3	0.3
Azufre	%	0.0	0.0	0.0
Cobalto	Ppm	0.8	0.8	0.8
Cobre	Ppm	2.5	2.5	2.5
Hierro	Ppm	81.9	81.9	81.9
Yodo	Ppm	1.2	1.2	1.2
Manganeso	Ppm	65.4	65.4	65.4
Selenio	Ppm	0.037	0.052	0.062
Zinc	Ppm	7.9	7.9	7.9

Nota: La composición nutritiva de las dietas experimentales fue similar de acuerdo con los tratamientos: para el tratamiento Se inyectado no se adicionó ninguna fuente de Se en la premezcla mineral, solo se considera el Se presente en los ingredientes de la dieta.

Cuadro 5. Alimentación diaria (kg) de las ovejas durante el periodo de lactancia.

Insumo	Selenio inyectado	Selenio inorgánico	Selenio orgánico
Heno de alfalfa	0.750	0.750	0.750
Heno de avena	0.750	0.750	0.750
Concentrado tratamiento 1	0.750		
Concentrado tratamiento 2		0.750	
Concentrado tratamiento 3			0.750
Suma	2.250	2.250	2.250

Protocolo de sincronización. Las ovejas utilizadas en el experimento fueron sincronizadas mediante la aplicación de un dispositivo intravaginal (CIDR® Laboratorios Pfizer) que contenía 0.3 g de progesterona (P4) durante nueve días. En el séptimo día, se administró vía intramuscular 1 ml de un análogo de Prostaglandina (PGF2 α) (Lutalyse®, Zoetis) a todas las ovejas, con el fin de lisar cualquier cuerpo lúteo presente y homogeneizar el estado fisiológico del ciclo estral.

El noveno día del protocolo de sincronización de estros, se retiraron los dispositivos de CIDR, y se inició la detección de estros 6 horas después, con intervalos de 4 horas, durante 120 horas. Los corderos de las ovejas del estudio fueron destetados el mismo día que se retiró el dispositivo CIDR. Se consideró que una oveja no había respondido al tratamiento si no presentó estro durante este lapso. Para detectar los estros, se utilizaron carneros celadores de diferentes razas, con una edad promedio de 5 años, equipados con mandil. Se consideró que una oveja estaba en estro cuando permaneció inmóvil y permitió la monta del carnero. Inmediatamente después de detectar el estro en alguna oveja del experimento, se realizó el servicio por monta natural, utilizando un carnero de la raza correspondiente al esquema de apareamientos utilizado en LaROCa. Pasadas las 12 horas del servicio, se realizó una segunda monta como repaso utilizando al mismo carnero de la primera monta.

Los carneros se seleccionaron, para realizar las montas a las ovejas del experimento y recibieron un tratamiento especial una semana antes del inicio de

los estros. Se les desparasitó utilizando ivermectina (1 ml) y se les suministró un complejo vitamínico (Vigantol ADE 2 ml carnero⁻¹).

Se observaron las siguientes variables de respuesta: incidencia de estros, inicio del estro, fertilidad, y fecundidad. Además, se registró la variable peso.

Variables de respuesta: para calcular la incidencia de estros, se dividió el número de ovejas que mostraron manifestaciones externas de estro entre el total de ovejas del tratamiento. El inicio del estro se midió como el tiempo que tardaron las ovejas en presentar estro después de retirado el CIDR. La fertilidad se calculó como el número de ovejas que no retornaron a estro durante los 35 días posteriores a la inseminación, determinada con la ayuda de machos provistos de mandil y se confirmó mediante ultrasonografía 40 días después de detectado el estro. La fecundidad se midió como el número de corderos nacidos dividido entre el número de ovejas del tratamiento.

Diseño y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 12, 11 y 10 ovejas como repeticiones para los tratamientos Se inyectado (T1), Se inorgánico (T2) y Se orgánico (T3). Se realizó un análisis de varianza para identificar diferencias entre tratamientos para la variable inicio del estro, así como una prueba de Tukey para la comparación de medias. El nivel de confianza para el análisis de varianza y la comparación de medias fue de 95 % ($p \leq 0.05$). Además, se empleó un análisis de supervivencia log-rank (Mantel-Cox) para medir la diferencia de tiempo entre el final del tratamiento y la aparición del estro. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS Studio (SAS, 2002).

Las variables respuesta al estro, fertilidad y fecundidad no cumplieron con el supuesto de normalidad (Shapiro Wilk), por lo cual se realizó una prueba no paramétrica (Kruskal Wallis) para cada una. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + Tratamiento_i + E_{ij}$$

Donde, Y_{ij} = Variable de respuesta, $Tratamiento_i$ = efecto del i-ésimo tratamiento (trat 1= Se Inyectado, trat 2= Se Inorgánico, trat 3=Se Orgánico), E_{ij} = Error aleatorio asociado a cada observación, donde $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

4.5 Resultados y discusión

Un 94 % de las ovejas mostró estro, sin que se encontraran diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0.05$). Sin embargo, al analizar el promedio y el error estándar de inicio del estro 31.2 ± 2.6 h, se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre el T1 y los demás tratamientos del experimento. El tiempo de inicio del estro en el grupo T1 fue de 25.4 ± 6.67 h, mientras que en los otros grupos T2 y T3 fue de 30.9 ± 9.46 y 37.4 ± 8.05 h (Cuadro 6). Se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) en las curvas de supervivencia para el inicio del estro (Figura 3), siendo evidente el mayor número de ovejas en estro entre las 35 y 48 h (Cuadro 7). En el porcentaje de fertilidad (88 %) no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos. En el porcentaje en la tasa de parición (86.6 %) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.05$). Tampoco existieron diferencias significativas ($p>0.05$) en fecundidad (1.2 ± 0.6 corderos por oveja) entre tratamientos (Cuadro 8).

Según el experimento realizado, se pudo confirmar la eficacia del CIDR (dispositivo intravaginal) impregnado con progesterona, con la aplicación de PGF2 α al día 7 después de la inserción del dispositivo, para sincronizar las ocurrencias de estros en las ovejas, ya que el 94 % de los casos observados obtuvieron resultados positivos.

Cuadro 6. Variables reproductivas en ovejas tratadas con diferentes fuentes de selenio y alimentación dirigida.

Tratamiento	Número de animales inseminados (monta natural) /Total	% incidencia de estros	h Inicio al estro
Selenio inyectado	9/10	90 ^a	25.41 ± 6.67 ^a
Selenio inorgánico	11/11	100 ^a	30.90 ± 9.46 ^{ab}
Selenio orgánico	11/12	92 ^a	37.40 ± 8.06 ^{ab}

a, b. Letra diferente de cada hilera indica diferencias ($p \leq 0.05$).

Los resultados encontrados en este experimento son similares a los resultados obtenidos por Santos-Jiménez, Martínez-Herrero, Encinas, Martínez-Ros y González-Bulnes (2020), quienes insertaron dispositivos CIDR por nueve días, más la aplicación de gonadotrofina coriónica equina (eCG) con una dosis única después de retirado el dispositivo, además de probar tratamientos alternativos con hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) con una dosis única 56 h después de retirado los dispositivos, teniendo resultados de 94 % en la presentación de signos de estro. Esto demuestra la efectividad del protocolo de sincronización, comparado con otros protocolos en donde se utilizan otros fármacos hormonales. La progesterona (P4) tiene la capacidad de inhibir la secreción pulsátil de la hormona luteinizante (LH), estos eventos endocrinos son un factor determinante en la maduración de folículos ováricos y su posterior ovulación (Bergfeld et al. 1995). Según lo informado por Sinimbu et al. (2022), se ha observado que la presentación del estro en ovejas ocurre entre las 12 y 36 horas posteriores al retiro del dispositivo intravaginal impregnado con progesterona. Por otra parte, en el experimento se utilizó PGF2 α como parte del protocolo de sincronización de estros. El uso de PGF2 α se basa en la eliminación del cuerpo lúteo, lo que induce la fase folicular y la ovulación (Abecia, Forcada, & González-Bulnes, 2011).

Cuadro 7. Variables reproductivas en ovejas tratadas con diferentes fuentes de selenio y alimentación dirigida.

Tratamiento	Número de animales inseminados (monta natural) /Total	% Fertilidad	% Tasa de parición	Fecundidad Media $\pm$ EE
Selenio inyectado	9/10	80	80	1.3 $\pm$ 0.8 ^a
Selenio inorgánico	11/11	100	100	1.27 $\pm$ 0.5 ^a
Selenio orgánico	11/12	80	80	1.09 $\pm$ 0.5 ^a

a, b. Letra diferente de cada hilera indica diferencias ($p \leq 0.05$).

En un estudio realizado por Alavez-Ramírez, Montes-Pérez, Aguilar-Caballero y Ortega-Pacheco (2015) sobre el efecto combinado de PGF2 α y efecto macho en ovejas de pelo en época reproductiva, se reportó que los celos se presentaron en un intervalo de 40-60 horas. Estos hallazgos indican que la combinación de PGF2 α y P4 es más efectiva para protocolos de sincronización de celos. Sin embargo, el uso de P4 puede conllevar problemas como la producción de residuos químicos y vaginitis. En contraste, el uso exclusivo de PGF2 α puede ser una alternativa limpia y segura debido a que la aplicación del fármaco puede ser administrada por una inyección intramuscular y es metabolizada rápidamente y en gran parte en el pulmón (Alavez-Ramírez, et al., 2015).

Cuadro 8. Proporción de supervivencia (%) del intervalo estral desde el inicio hasta el final del tratamiento en ovejas alimentadas con diferentes fuentes de selenio.

Horas	Selenio inyectado (n = 10)	Selenio inorgánico (n = 11)	Selenio orgánico (n = 12)
8	-	9	-
16	20	9	-
28	70	45	16.6
35	90	54	41.6
40	-	90.9	50
44	-	-	83
48	-	-	92

Las curvas de supervivencia fueron diferentes (prueba de Mantel-Cox) $p < 0.05$.

En general, se observaron altos índices de fertilidad para los tres tratamientos (Cuadro 8). Esto podría explicarse debido a que se realizó el servicio mediante monta natural. Según Fraire-Cordero et al. (2013), la monta natural permite una mayor concentración de espermatozoides que son depositados directamente en la hembra, lo que aumenta significativamente la probabilidad de fecundación del óvulo. En cuanto a la fecundidad, se observó una similitud significativa entre los tres tratamientos, lo cual puede ser atribuido a la presencia de Se en todos ellos. Esto se debe a la función antioxidante del Se, que ayuda a proteger la membrana plasmática del óvulo. La presencia de estrés oxidativo durante la gestación puede tener diversos efectos, desde afectar la maduración del ovocito hasta la luteólisis y la implantación del embrión. La producción anormal de especies reactivas de oxígeno (ROS) interrumpe estos procesos y puede provocar una falla reproductiva (Hussain, et al., 2021) (Figura 3).

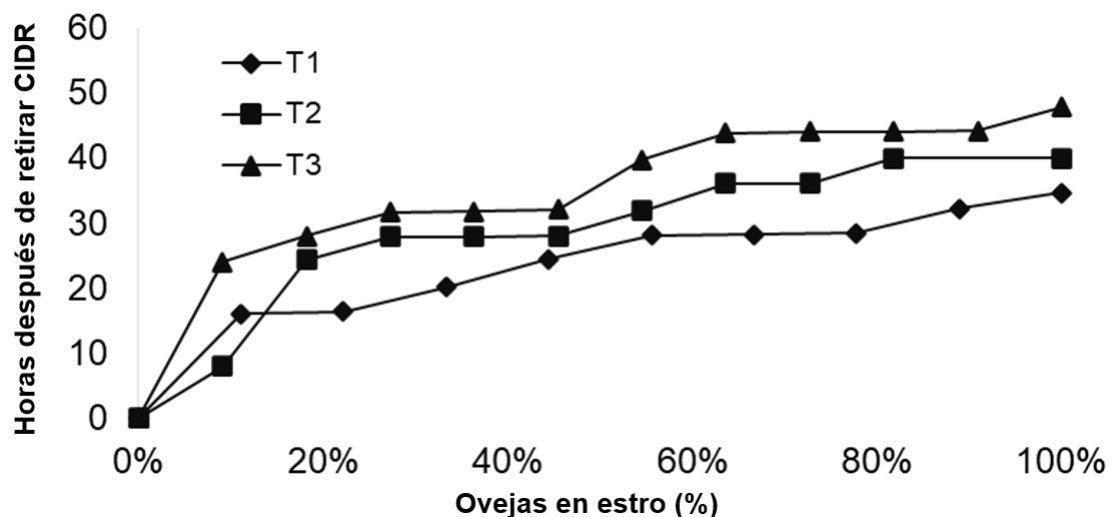


Figura 3. Distribución del estro después de retirar CIDR.

La suplementación de Se tuvo un impacto positivo en las variables reproductivas analizadas. En el T1, donde se administró Se inyectado, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la variable "inicio de estro". La dosis suministrada fue de 1 ml por oveja, 30 días antes de la fecha prevista de parto según los registros, lo que resultó en una cantidad de 0.8 mg de selenito de sodio

por oveja. La administración de Se inyectado probablemente aumentó la concentración de este elemento en sangre, mejorando así su disponibilidad para los procesos fisiológicos que lo requieren, incluyendo aquellos relacionados con la reproducción. Además, el Se como antioxidante desempeña una función importante en la protección del ADN y en la producción de gametos de alta calidad (Peña, Gummow, Parker, & París, 2019).

Posiblemente uno de los factores más importantes para el éxito de la suplementación de Se en la reproducción es el tiempo de suplementación. En el estudio, se administró la suplementación por un período de 120 días en los tratamientos T2 (Se inorgánico) y T3 (Se orgánico). Sin embargo, otras investigaciones han explorado diferentes tiempos de suplementación y sus efectos en la reproducción de ovejas. Cabrera-Mora, Miranda-Jiménez, Herrera-Haro y Osorio-Ávalos (2018) evaluaron la suplementación de Se orgánico como levadura enriquecida con Se una semana antes de la cubrición. Sin embargo, no se observaron efectos significativos en la concentración de progesterona ni en la tasa de concepción de las ovejas. Por otro lado, Irabuena, Sterla y Abella (2021) añadieron 5 mg de Se (en forma de selenito de sodio) a la dieta de ovejas 21 días antes de la cubrición, y encontraron efectos positivos sobre la fertilidad. Teniendo en cuenta los resultados de estos estudios, se sugiere que la suplementación de Se en cualquiera de sus formas puede mejorar los parámetros reproductivos si se administra al menos 30 días antes de la fecha de cubrición. Es importante destacar que el tiempo de suplementación óptimo puede variar según la forma de Se suplementada y la condición de las ovejas. Por lo tanto, se requiere de más investigaciones en esta área para determinar la duración y la dosis óptimas de la suplementación de Se en la reproducción de ovejas.

El peso y la condición corporal (CC) de las ovejas son factores fundamentales para el éxito de la reproducción. Al inicio del experimento, las ovejas presentaron un peso de 64 ± 1.6 kg y una condición corporal de 3.3 CC en escala de 1 a 5, de acuerdo con la metodología propuesta por Edmonson, Lean, Weaver, Farver y Webster (1989). Al final del período experimental, las ovejas perdieron peso y

condición corporal, presentando un peso de 55 ± 1.6 kg y una CC de 2.8. Esto se debe a los retos metabólicos ocasionados por la etapa final de gestación, el parto, el inicio de la lactancia y la continua producción de leche para la crianza de los corderos durante 2.5 meses. Se ofreció una alimentación adecuada para ayudar a las ovejas a disminuir las pérdidas de peso y CC. Sin embargo, es inevitable que hagan uso de sus reservas corporales para lograr la supervivencia de sus crías. Durante los períodos de preñez y lactancia, la concentración de Se en sangre disminuye, por lo que la suplementación en estas etapas es crucial (Díaz-Zarco, Montes-de-Oca-Jiménez, & Rodríguez-Domínguez, 2022). Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la variable "peso" (Cuadro 9) para todos los tratamientos; se ha demostrado en varios estudios que una CC de 3 puntos mejora la tasa ovulatoria y el número de folículos (Aké-López, Casanova-Estrella, Centurión-Castro, & Aké-Villanueva, 2013; de la Isla-Herrera, Aké-López, Armín-Ayala, & González-Bulnes, 2010). Por lo tanto, es importante mantener un buen estado corporal en las ovejas para optimizar su capacidad reproductiva, lo que, en combinación con la suplementación adecuada de Se, puede mejorar significativamente los resultados reproductivos.

Tabla 9. Pesos y condición corporal de las ovejas desde el inicio hasta al final del experimento.

Tratamiento	Peso vivo (kg), EE	CC
Selenio inyectado	61.87 ± 1.03^a	3.02
Selenio inorgánico	63.7 ± 0.98^a	3.27
Selenio orgánico	61.55 ± 0.93^a	3.11

a, b. Letra diferente de cada hilera indica diferencias ($p < 0.05$). CC. Condición corporal.

4.6 Conclusiones

La suplementación de Se en forma inyectada presentó un tiempo más corto en la presentación del estro, en comparación con su forma inorgánica y orgánica adicionada vía dieta. No obstante, se observó un efecto positivo en la reproducción en todas las formas de Se evaluadas. En consecuencia, el Se es un nutriente esencial para mejorar los parámetros reproductivos en ovinos. Se

sugiere que futuras investigaciones en este campo se enfoquen en el desarrollo de protocolos de suplementación de Se óptimos, para obtener resultados más precisos.

4.7 Literatura citada

- Abecia, J., Forcada, F., & González-Bulnes, A. (2011). Pharmaceutical Control of Reproduction in Sheep and Goats. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 27(1), 67-97. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.10.001>
- Aké-López, J., Casanova-Estrella, G., Centurión-Castro, F., & Aké-Villanueva, J. (2013). Efecto de la condición corporal sobre la sincronización del estro, fertilidad y prolificidad de ovejas de pelo. *Transferencia de Tecnología*, 6(2), 34-38.
- Alavez-Ramírez, A., Montes-Pérez, R., Aguilar-Caballero, A., & Ortega-Pacheco, A. (2016). Effect of the combination of male effect with PGF2 α on estrus synchronization of hair sheep in Mexican tropic. *Tropical Animal Health Production*, 48, 655–658. doi.org/10.1007/s11250-015-0977-2
- Bergfeld, E., Kojima, F., Cupp, A., Wehrman, M., Peters, K., Mariscal, V., Sanchez, T., Kittok R., Garcia-Winder, M., & Kinder, J., (1995). Frequency of luteinizing hormone pulses and circulating 17 β -oestradiol concentration in cows is related to concentration of progesterone in circulation when the progesterone comes from either an endogenous or exogenous source. *Animal Reproduction Science*, 37, 257-265.
- Cabrera-Mora, J., Miranda-Jiménez, L., Herrera-Haro, G., & Osorio-Ávalos, J. (2007). Tasa de concepción en ovejas tratadas con selenio orgánico. *Abanico Veterinario*. 9, e93. doi.org/10.21929/abavet2019.93.
- D'Occhio, M., Baruselli, P., & Campanile, G. (2019). Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review. *Theriogenology*, 125, 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.11.010>
- de la Isla-Herrera, G., Aké-López, J., Ayala-Burgos, A., & González-Bulnes, A. (2010). Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41(3), 167-175.
- Díaz-Zarco, S., Montes-de-Oca-Jiménez, R., & Rodríguez-Domínguez, M. (2022). Niveles de Selenio en suelo, pasto y en ovejas: Influencia del suplemento de Selenio en la concentración de IgG en ovejas gestantes y corderos. *Terra Latinoamericana*, 40, e950. doi.org/10.28940/terra.v40i0.950

- Edmonson, A., Lean, I., Weaver, L., Farver, T., & Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 68-78, doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0
- España, J., Lucy, M., & Hardin, D. (2007). Effects of Nutrition on Reproduction in Dairy Cattle. (Ed.), *Youngquist, R. & Threlfall, W. Current Therapy in Large Animal Theriogenology (Second Edition)* (pp. 442-450). W.B. Saunders. doi.org/10.1016/B978-072169323-1.50060-X
- 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. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 29 (1), 33-44.
- García, E. (1988). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3ª edición.* (pp. 246). Editorial FOCET.
- Hussain, T., Murtaza, G., Metwally, E., Kalhor, D., Kalhor, M., Rahu, B., Sahito, R., Yin, Y., Yang, H., Chughtai, M., & Tan, B. (2021). The Role of Oxidative Stress and Antioxidant Balance in Pregnancy. *Mediators Inflammation*, 9962860. doi: 10.1155/2021/9962860
- Irabuena, O., Sterla, S., & Fernández, D. (2021). Suplemento de selenio y zinc en la cubrición y parto en ovejas Merino Australian. *Archivos de Zootecnia*, 70(271), 270-275.
- Linus Pauling Institute (28 de mayo 2023). Selenio. *Oregon State University*. Consultada en <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/selenio#suplementos>
- Peña, S., Gummow, B., Parker, A., & Paris, D. (2019). Antioxidant supplementation mitigates DNA damage in boar (*Sus scrofa domestica*) spermatozoa induced by tropical summer. *Plos ONE*, 14 (4), e0216143. doi. org/10.1371/journal.pone.0216143
- Santos-Jimenez, Z., Martinez-Herrero, C., Encinas, T., Martinez-Ros, P., & Gonzalez-Bulnes, A. (2020). Comparative efficiency of oestrus synchronization in sheep with progesterone/eCG and progesterone/GnRH during breeding and non-breeding season. *Reproduction in Domestic Animals*, 55 (7), 882-884. doi: 10.1111/rda.13698
- SAS. 2009. SAS/STAT User's guide (release 9.1) SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Shi, L., Wang, X., Duan, Y., Li, K., & Ren, Y. (2022). Antagonistic effects of selenium on lead-induced oxidative stress and apoptosis of Leydig cells in sheep. *Theriogenology*, 185, 43-49. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.03.023
- Sinimbu, A., Ferreira, E., Denadai, R., Barroso, J., Biava, J., Pires, A., & de Castro Ferraz Junior, M. The effect of progesterone length in timed AI in ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 54(5), 258. doi: 10.1007/s11250-022-03265-w