

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas



**“PORCENTAJE DE GESTACIONES EN OVEJAS
INYECTADAS CON ÓXIDO DE ZINC DURANTE UN
PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DEL CELO EN EL
VALLE DE MEXICALI”**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA

HÉCTOR HUMBERTO CORRALES ARÉVALO

DIRECTOR

DR. JUAN GONZÁLEZ MALDONADO

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

ABRIL DE 2022

La presente tesis "PORCENTAJE DE GESTACIONES EN OVEJAS INYECTADAS CON ÓXIDO DE ZINC DURANTE UN PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DEL CELO EN EL VALLE DE MEXICALI" fue realizada por Héctor Humberto Corrales Arévalo y dirigida por el Dr. Juan González Maldonado, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Consejo particular

DIRECTOR



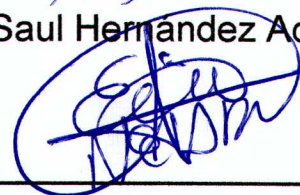
Dr. Juan González Maldonado

SINODAL



Dr. Saul Hernández Aquino

SECRETARIO



Dr. Ernesto Avelar Lozano

INDICE

Sección	Página
I. INDICE DE CUADROS	V
II. INDICE DE FIGURAS	VI
III. LISTA DE SÍMBOLOS / NOMENCLATURA	VII
IV. AGRADECIMIENTOS.....	VIII
V. DEDICATORIA	IX
VI. RESUMEN	X
VII. ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Situación de la ovinocultura en México	2
2.2. Aspectos reproductivos de la oveja.....	3
2.3. Control de la reproducción de la oveja	5
2.4. Factores que disminuyen el potencial reproductivo de la oveja	7
2.5. Relación entre nutrición y reproducción en la oveja	8
2.6 Importancia de la suplementación mineral en ovejas	10
2.7. Funciones fisiológicas y reproductivas del zinc en la oveja	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVO	15
5. HIPÓTESIS	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS	16
6.1 Ubicación.....	16
6.2 Animales y diseño experimental	16

6.3 Alimentación	16
6.4 Manejo reproductivo.....	17
6.5 Variables de repuesta.....	17
6.6 Análisis estadístico.....	18
7. RESULTADOS	18
8. DISCUSIÓN	20
9. CONCLUSIÓN	23
10. LITERATURA CITADA.....	23

I. INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1 Diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño (medias \pm error estándar) de ovejas inyectadas con 0 (control), 100 (z-100) y 200 (z-200) mg de óxido de zinc en cinco unidades de producción (UP1-UP5).....	19

II. INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Porcentaje de gestaciones en ovejas inyectadas con 0 (barras negras), 100 (barras blancas) y 200 (barras grises) mg de óxido de zinc en cuatro unidades de producción (UP1-4)	20

III. LISTA DE SÍMBOLOS / NOMENCLATURA

UP	Unidad de producción	ppm	Partes por millón
mL	Mililitros	ADN	Ácido desoxirribonucleico
mg	Miligramos	Zn	Zinc
%	Por ciento	BWh	Clima Árido cálido
INHB	Inhibina beta	°C	Grados Celsius
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropina	mm	Milímetros
LH	Hormona luteinizante	Kg	Kilogramos
FSH	Hormona foliculoestimulante	eCG	Gonadotropina coriónica equina
g	Gramos	UI	Unidad internacional
h	Horas	FMT	Folículo de mayor tamaño

IV. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California por permitirme ser parte de la gran familia de cimarrones, así como al Instituto de Ciencias Agrícolas que en todo momento hace sentir una unión entre maestros y alumnos.

A todos mis maestros en general por las enseñanzas impartidas hacia mi persona y la de todos mis compañeros, y agradezco a estos últimos también por el apoyo tanto físico como mental.

Al Dr. Juan González Maldonado por estar presente durante todo este proceso del trabajo, desde que comenzamos hasta que se concluyó, por su paciencia con errores durante el trabajo experimental, por su disponibilidad para transmitir todas sus enseñanzas tanto académicas como de vida, en general por ser un amigo.

A los productores ovinos que se mostraron atentos hacia nuestra persona, con amabilidad, cordialidad, y disponibilidad de ayudar, aprender y enseñar.

V. DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por permitirme levantarme cada día, y darme la fuerza para salir a cumplir lo que me propongo. Por ponerme en el lugar en el que estoy, y ayudarme a tener lo que quiero, pero principalmente a querer lo que tengo. Gracias a Dios, por todo; de igual manera a mis padres, Ana Verónica Arévalo Ibarra y Hector Corrales Duran, por siempre alentarme a superarme y no estancarme, por su amor y apoyo incondicional; a mi familia en general por apoyarme directa o indirectamente. Y también a mis amigos por apoyarme y entenderme cuando no podía reunirme con ellos, y por ser influencia positiva hacia mi persona.

¡GRACIAS A TODOS!

VI. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue medir el efecto de la inyección de zinc, durante la aplicación de un protocolo de sincronización, en el porcentaje de gestaciones de ovejas en el Valle de Mexicali. Las unidades experimentales fueron 157 ovejas, las cuales se encontraban distribuidas en cinco unidades de producción (UP): UP1 (n=19), UP2 (n=27) UP3 (n=20) UP4 (n=71) y UP5 (n=21). En cada unidad de producción, las ovejas fueron asignadas de manera aleatoria a uno de tres tratamientos: control, z-100 y z-200. Las ovejas del grupo control recibieron una inyección por vía subcutánea de 4 mL de aceite de olivo como placebo. Las ovejas de los grupos z-100 y z-200 fueron inyectadas por vía subcutánea con 100 y 200 mg de óxido de zinc. Las variables de respuesta fueron el diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño y el porcentaje de gestaciones. En general, las diferencias en las medias por efecto de la suplementación con zinc no fueron significativas para las variables de tamaño del folículo ($p>0.05$) ni los porcentajes de gestaciones ($p>0.05$) en ovejas. En conclusión, la inyección subcutánea de ovejas con óxido de zinc no afecta el tamaño del folículo preovulatorio de mayor tamaño, ni los porcentajes de gestaciones.

Palabras clave: minerales, reproducción, ovinos.

VII. ABSTRACT

The objective of the present study was to measure the effect of zinc injection, during a synchronization protocol, on pregnancy rate in sheep from the “Valle de Mexicali”. The experimental units were 157 ewes, which were allocated in five farms (UP): UP1 (n=19), UP2 (n=27) UP3 (n=20) UP4 (n=71) and UP5 (n=21). In each farm, the ewes were randomly assigned to one of three treatments: control, z-100 and z-200. The ewes from control groups were subcutaneously injected with 4 mL of olive oil as placebo. The ewes from groups z-100 and z-200 were subcutaneously injected with 100 and 200 mg of zinc oxide. The response variables were the preovulatory diameter of the largest follicle and pregnancy rate. In general, the differences between experimental groups on diameter of the largest preovulatory follicle and pregnancy rates were not significantly different ($p>0.05$). In conclusion, the subcutaneous injection of ewes with zinc oxide did not affect the size of the largest preovulatory follicle and pregnancy rate in ewes.

Key words: minerals, reproduction, sheep

1. INTRODUCCIÓN

La suplementación mineral es imprescindible en la reproducción animal, (López-Alonso, 2012). Sin embargo, esta es una práctica que regularmente se lleva a cabo en sistemas de producción tecnificados o en su defecto semi tecnificados; pero en sistemas familiares o de traspatio no suele verse aplicada, ya que estos sistemas suelen estar a cargo de productores marginados con una baja asistencia técnica (Bobadilla et al., 2017). Esto último se presenta en el Valle de Mexicali, ya que la ovinocultura es considerada como una actividad de subsistencia, lo cual abre un amplio campo para la aplicación de biotecnologías, y estrategias de producción y reproducción (Martínez-Partida et al., 2011). La suplementación mineral es una de estas estrategias que pueden utilizarse para mejorar la reproductividad del rebaño (Gifford & Gifford, 2013).

El desarrollo de los animales se ve mermado cuando se consumen alimentos deficientes en minerales (Banchemo et al., 1997), por lo que la suplementación mejora tanto la productividad como la actividad reproductiva en ovinos (Awawdeh et al., 2019). Los animales que presentan deficiencias de zinc presentan una disminución en la fertilidad, y dado que no se almacena por periodos largos en el organismo, es necesario suplementarlo de manera continua (Pond et al., 2002). Los caprinos y bovinos suplementados con zinc presentan mejoras en su fertilidad (Anchordoquy et al., 2019; Kundu et al., 2014). Sin embargo, la disponibilidad de información acerca de su efecto en la fertilidad de ovejas es limitada. El presente trabajo de investigación evaluó el efecto de la suplementación mineral (zinc) en variables reproductivas de la oveja. El trabajo se llevó a cabo en unidades de producción del Valle de Mexicali. Esto es de relevancia, ya que la asistencia técnica que reciben los productores en esta zona del país es limitada, por lo que su incorporación a

trabajos de investigación es un medio de capacitación y transferencia de tecnología.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Situación de la ovinocultura en México

La población de ovinos en México es aproximadamente de 8.7 millones de cabezas. Los principales estados productores son el Estado de México e Hidalgo, quienes aportan a la producción nacional 9 (14.5%) y 6 (10.5%) mil toneladas de carne en canal respectivamente; Por otro lado, el estado de Baja California, siendo un estado con climas desde mediterráneo a árido, aporta a la producción nacional 291 (0.45%) toneladas al año (SIAP, 2020). Los ovinos del país se utilizan principalmente para la producción cárnica, dado que forman parte de diferentes platillos típicos, como lo es la barbacoa. Sin embargo, no es lo único que se puede aprovechar de estos animales, otros productos que pueden ser aprovechados son la lana, piel y leche (Pérez et al., 2017).

Hasta hace poco los rebaños ovinos, de las regiones áridas y semi áridas de México, se conformaban, principalmente por ovinos de la raza Rambouillet; Sin embargo, su diversidad se ha ido incrementado con la introducción de más razas, en su mayoría de pelo, como Pelibuey, Blackbelly, Dorper y Katahdin (González et al., 2014).

Comúnmente se asocia a la ovinocultura con productores marginados, de bajos recursos económicos, con limitada asistencia técnica y poca o nula aplicación de tecnológica en sus rebaños (Bobadilla et al., 2017), lo cual implica una baja eficiencia productiva y una reducción en la cantidad de animales disponibles para abasto; Sin embargo, los sistemas de producción ovino pudieran estar mejor, si estuvieran bien organizados, así los pequeños productores podrían convertirse en proveedores, y se generaría un mayor número de empleos (Mart et al., 2011). Por otra parte, el gobierno ha destinado

recursos para el fomento de la ovinocultura (Candelaria et al., 2015). Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones dan origen a una producción ovina demasiado promisorio (Bobadilla et al., 2017), sin llegar a cumplir con las expectativas previstas. Lo anterior conlleva a uno de los principales problemas que afectan al sector ovinocultor en México, el cual es la demanda insatisfecha de carne de ovino.

La región del Valle de Mexicali, ubicada en el noroeste del país, es una zona árida con altas temperaturas, por lo cual los ovinos, sufren estrés calórico, siendo este uno de los principales desafíos para la producción, por lo que es recomendable el uso de estrategias para reducir el estrés calórico durante el verano, para mantener su productividad y evitar mermas; Además, la producción de ovinos de esta región no es tecnificada, lo cual abre un campo de oportunidad para la aplicación de tecnologías y estrategias, tanto de producción como de reproducción, para incrementar su productividad (Theusme et al., 2021).

2.2. Aspectos reproductivos de la oveja

La oveja presenta dos periodos de actividad durante el año, el reproductivo y el anestro. El reproductivo se caracteriza por la aparición cíclica del estro y ovulación, cada 16-17 días (Gómez et al., 2012). El ciclo estral presenta dos fases, la fase folicular, la cual comprende las etapas del proestro y el estro, y la fase lútea, la cual comprende las etapas del metaestro y el diestro. Mientras que el periodo del anestro se caracteriza por la ausencia de celos, lo cual se debe a un efecto del fotoperiodo, disponibilidad de nutrientes o a la lactancia (Duggavathi, 2004).

La duración del celo en ovejas oscila entre 24 a 36 horas, y es aproximadamente 50% más largo en razas con altas tasas de ovulación (Goodman & Inskeep, 2006). Durante el estro, la hembra es receptiva al macho y permite la cópula (Atuesta, 2011). La aparición del primer celo, después del nacimiento, marca el inicio de la pubertad y la actividad reproductiva de la

hembra, a partir de este momento la hembra podrá quedar gestante (Taylor et al., 2000). Las ovinos, al igual que otros animales domésticos, están condicionados a llegar a la pubertad a una edad y un peso mínimo, es recomendable engordar a los animales para que lleguen a su peso óptimo de pubertad antes de la edad y no viceversa (Maltos, 2013).

La edad a la primera concepción y al primer parto están ampliamente relacionados con la edad a la pubertad. Esto nos dice que entre menos tiempo duren las hembras en llegar a la pubertad, se reducirá el costo de mantenimiento desde el nacimiento hasta que estas inicien su vida reproductiva (Briggs, 1936). En borregas de rápido crecimiento y bien alimentadas, no se tienen problemas con tiempos tardíos para entrar a la pubertad. Las ovejas de la raza Suffolk y Rambouillet son claro ejemplo de esto, ya que suelen alcanzar la pubertad alrededor de las 28 semanas de edad (McCann et al., 1989). Sin embargo, en borregas de raza Pelibuey, en sistemas de producción extensivos, suelen alcanzar la pubertad dentro del año a año y medio de edad (Aguilar et al., 2017). Por lo cual, en general el promedio de la edad a la pubertad es de 6 a 9 meses de edad (Hafez, 1987).

La ovulación se presenta hacia el final del celo, este evento es inducido por las altas concentraciones de estradiol y la descarga preovulatoria de LH, la cual desencadena la luteinización de las células de la teca y granulosa (Atuesta, 2011). El número de ovulaciones en cada celo definirá la prolificidad de cada hembra. La prolificidad la podemos definir como el número de crías nacidas por parto, esta puede variar por factores genéticos y ambientales (Cuéllar et al., 2015); por ejemplo, el gen de la inhibina beta (INHB) está descrito como incrementador del tamaño de las camadas de algunas razas ovinas (Chu et al., 2011). La ovulación, al igual que otros eventos reproductivos, está influenciada por la nutrición. Se ha demostrado que el cambio de una dieta alta a una baja en energía, por 5 meses seguidos, incrementa el número de borregas ovulando (Fitzgerald & Ithaca, 1982).

La gestación es el evento reproductivo que acontece después de la ovulación, siempre y cuando se haya presentado la monta y fecundación por parte del macho; La gestación tiene una duración de 140 a 156 días (Goodman, 1994). Los partos deben de coincidir con la época del año más favorable o cuando la demanda del mercado permita obtener la remuneración más elevada (González et al., 2014). Sin embargo, la estacionalidad reproductiva de los ovinos jugará un papel importante en determinar la época de partos. En zonas templadas, la duración del largo del día, y la duración en la exposición a melatonina, producida por el pinealocito de la glándula pineal, determinará la época reproductiva (González et al., 2014). Sin embargo, en zonas tropicales la estacionalidad reproductiva no es controlada por el fotoperiodo, si no por factores nutricionales (Juarez-Perez et al., 2018).

La estacionalidad es un mecanismo de adaptación desarrollado por algunos animales silvestres, y varios ya domesticados, como una estrategia para contrarrestar los efectos negativos del ambiente en la supervivencia de sus crías; En el caso de Mexicali y su valle, de manera natural se evita que los nacimientos ocurran durante el verano, ya que las altas temperaturas pueden llegar a ser letales para los recién nacidos (Arroyo, 2011).

2.3. Control de la reproducción de la oveja

La alta demanda de productos de origen animal, y el crecimiento de la población humana, nos obliga a buscar nuevas y mejores técnicas para aumentar la producción agropecuaria (González et al., 2010). En México, aunque la población ovina ha crecido significativamente, no alcanza a cubrir la demanda nacional de carne (González et al., 2010), lo anterior puede deberse, al menos en parte, a que la ovinocultura en México tradicionalmente ha estado en manos de productores con bajos recursos económicos, los cuales no aplican biotecnologías para incrementar la productividad del rebaño (Cadena & Cortez, 2012).

En ovinos, las biotecnologías como la inseminación artificial y la transferencia de embriones no habían alcanzado un auge alto como en el caso de los bovinos, lo cual limita su progreso genético y reproductivo (Rodríguez, 2006). No obstante ya son más comunes, y podemos definir la transferencia de embriones como una biotecnología para una reproducción asistida, basada en la producción de embriones en una hembra donante, para ser transferidos a hembras receptora (Gibbons & Cueto, 2013).

Los protocolos de sincronización de celo son muy utilizados, esto para imitar la fase lútea del animal (Abecia et al., 2012). Esta puede realizarse con técnicas naturales, como el “efecto macho” (Sosa-Perez et al., 2014), o bien a partir de dispositivos impregnados con progestágenos, tales como el acetato de medroxiprogesterona, acetato de melengestrol y acetato de fluorogestona (Abecia et al., 2012). La utilización de progestágenos suele llevarse a cabo para inducir la aparición del celo en épocas naturales de anestro (Cordova et al., 2019). El uso de estos dispositivos impregnados con progestágenos aumenta el riesgo de contaminar el medio ambiente, así como los tejidos de las ovejas que se encuentran en contacto con los mismos. Una alternativa, es utilizar protocolos de sincronización de corta duración (Fleisch et al., 2012). Además, se puede optar por utilizar solamente prostaglandinas $F_{2\alpha}$, ya que se metabolizan de manera rápida en los pulmones (Abecia et al., 2012).

El efecto macho, también conocido como la forma natural de la sincronización, esta técnica hace referencia a un efecto socio-sexual, donde el borrego estimula el inicio de la actividad reproductiva de la oveja. Este estimula, a través de sus feromonas, el restablecimiento de la secreción pulsátil de GnRH/LH, durante los periodos de inactividad ovárica. Este restablecimiento se da entre las 3 y 30 horas después de la introducción del macho, presentándose las ovulaciones entre las 24 y 60 horas (Arellano et al, 2010). La respuesta de las ovejas al efecto macho, dependerá de factores como la

condición corporal de las ovejas y del borrego, del libido y de la proporción macho-hembras dentro del corral (Flores et al., 2000).

Las biotecnologías antes mencionadas, en conjunto con la inseminación artificial, suelen ser técnicas excelentes para el mejoramiento genético de los rebaños (Gibbons & Cueto, 2013), teniendo como ventaja sincronizar el empadre y la parición, de tal manera que se da mejor atención tanto a ovejas como a corderos durante las pariciones (Cadena & Cortez, 2012).

2.4. Factores que disminuyen el potencial reproductivo de la oveja

La reproducción juega un papel importante, ya que sin crías no tendremos corderos para abasto o vientres para remplazo (Buratovich, 2010b). Algunos factores que afectan la eficiencia reproductiva son: genéticos, edad, peso vivo, la condición corporal, las condiciones ambientales y el manejo (Itzaina et al., 2010).

Los factores genéticos son considerados como los más importantes y más difíciles de corregir, ya que se necesita mucho tiempo para mejorar aspectos como la prolificidad o fertilidad, esto debido a que hay una variación en la tasa ovulatoria, dependiendo las razas en cuestión, hay algunas que solo producen un ovulo por celo, mientras que otras pueden llegar a ovular tres o más ovocitos; Además, se debe de limitar la presencia de la consanguinidad, ya que esta disminuye la eficiencia reproductiva, produciéndose una menor tasa de ovulación y una mayor muerte embrionaria (Buratovich, 2010a).

La edad es un factor no genético; Las ovejas aumentan su fecundidad, fertilidad y prolificidad conforme se incrementa su edad, sin embargo, esta relación deja de existir en promedio a partir de los 6 o 7 años de vida, dado al desgaste de los dientes (Buratovich, 2010b).

El peso vivo en la reproducción de la oveja puede dividirse en dos; uno estático, que es el peso que el animal alcanzó al momento de la cubrición, y otro dinámico, que es un peso inmediato producido por una sobrealimentación antes del empadre (Montossi et al., 2004).

En la condición ambiental, podemos destacar cambios en la reproducción conforme a la época del año en la que el animal se encuentre, ya que la estación donde habrá más crías se determinará por el fotoperiodo (Bittman et al., 1983). El inicio de la actividad reproductiva se dará generalmente en otoño, comenzando a disminuir entre febrero y marzo (Errazola et al., 2014). Además, se puede reducir la eficiencia reproductiva a causa de la temperatura, la humedad o precipitaciones durante la época de cubrimiento (Caravaca et al., 2003) Un ejemplo muy claro sería el estrés por calor o frío, dependiendo de la época del año en la que se encuentre el animal, pudiendo verse afectados la ovulación y el desarrollo embrionario temprano (Buratovich, 2010a). Buratovich y colaboradores reportan que el estrés por precipitaciones, durante dos semanas antes del cubrimiento de la oveja, provoca bajas en la tasa de ovulación. De manera similar, se observa un aumento en la pérdida de óvulos por exposición al frío, viento y lluvias, presentándose las pérdidas embrionarias entre los días 14 y 15 de la gestación (Buratovich, 2010a).

Las enfermedades también pueden reducir la eficiencia reproductiva, en especial enfermedades de transmisión sexual, como la brúcela, y las gastrointestinales, por ejemplo, el nematodo *Hoemonchus contortus* puede reducir la tasa ovulatoria desde un 15 a un 20%. En si cualquier enfermedad que haga que la oveja baje de peso, se reducirá la tasa ovulatoria (Fernandez, 2007).

2.5. Relación entre nutrición y reproducción en la oveja

La nutrición es un factor limitante en la reproducción, sus efectos pueden ser a corto, mediano o largo plazo. A largo plazo es la repercusión que trae una mal nutrición por periodos de tiempo prolongados. A mediano plazo, es el

efecto de la alimentación que se administra durante el ciclo reproductivo, la cual se adapta a las diferentes demandas de energía que el animal, y la última a corto plazo, es la alimentación conocida como flushing (Fernandez, 2007).

El flushing o sobre alimentación (mejor nutrición) es una técnica que se aplica poco antes del cubrimiento de la oveja, incrementando el desarrollo folicular y tasa ovulatoria (Marshall, 1905; Scaramuzzi et al., 2006). El flushing debe realizarse tres semanas antes del empadre y tres semanas durante el mismo (Romero & Bravo, 2012). Además, se pretende lograr una mayor prolificidad, puesto que habrá menos mortalidad embrionaria, ya que se dice que la oveja es capaz de modular su tasa de ovulación, para lograr el número de crías acorde a su estado nutricional (Abecia & Forcada, 2017).

Los principales macronutrientes que regulan el efecto del flushing son los carbohidratos (energía) y las proteínas, siendo estas últimas encargadas de un aumento en las concentraciones de FSH; Además, el mejoramiento en el aporte nutricional incrementa las concentraciones sanguíneas de regulares metabólicos de la reproducción, tales como la glucosa e insulina (Smith, 1988).

La respuesta al flushing puede ser estática y/o dinámica, siendo el primero la diferenciación en la tasa ovulatoria que se presenta en un animal de más peso, comparado con uno más liviano; el dinámico hace referencia a una mayor ovulación por un incremento de peso vivo repentino (Errazola et al., 2014). Sin embargo, hay que tener cuidado ya que una sobrealimentación excesiva puede provocar un alargamiento del anestro estacional (Abecia & Forcada, 2017).

El flushing debe proveer de un 20 a 30% extra de las necesidades energéticas de mantenimiento de la oveja, se deberá administrar forraje y alimento de calidad (Romero & Bravo, 2012), para poder observar un aumento en la secreción de gonadotropinas y la tasa ovulatoria (Stewart, 1990; Viñoles, 2003).

La alimentación puede llevarse a cabo en corral, proporcionando todo el alimento que el animal consumirá, incluyendo granos, semillas, y forrajes ya cosechados, esto es comúnmente conocido como *dry lot*. Las ventajas de este sistema es que los pesos deseados se obtienen en un menor tiempo (Rinehart, 2008). Otra alternativa es alimentar a las ovejas en praderas. La pradera se ve beneficiada con la presencia de las ovejas, ya que estas ayudan con el control de malezas y con el reciclaje de nutrientes (Rinehart, 2008). Sin embargo, puede llegar a suceder que el aporte nutricional del forraje no sea el necesario para cubrir los requisitos de los animales (Scaramuzzi et al., 2006).

2.6 Importancia de la suplementación mineral en ovejas

Los minerales son elementos esenciales para los animales, ya que intervienen de manera directa en el metabolismo, y sus desbalances se conocen como deficiencias, en el caso de ser menor al requerimiento, o toxicidad, en el caso de ofrecerse en cantidades superiores a las requeridas (Underwood & Suttle, 2003). Los animales en pastoreo tienden a presentar ganancias de peso bajas, debido al bajo aporte nutricional de algunos forrajes, como consecuencia se retrasa la edad en la que la oveja se cubre por primera vez, así como la producción de carne, leche y lana (Banchemo et al., 1997).

Los minerales son considerados como el tercer grupo nutricional limitante para rumiantes y en general para la producción animal (Salamanca, 2010). Estos se dividen en dos grupos, conforme a las cantidades que se requieren en la dieta, macrominerales y microminerales, estos últimos también conocidos como trazas u oligoelementos (Pond et al., 2002). Podemos destacar que dentro de los macrominerales más importantes para la producción animal están el calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, magnesio y azufre (Pond et al., 2002), siendo el fósforo y el sodio con los que se tiene más deficiencia a lo largo del año (Banchemo et al., 1997).

Los oligoelementos o microminerales más importantes para cualquier proceso de vida son el cobre, hierro, yodo, selenio, manganeso y zinc. Las necesidades

tanto de macrominerales como microminerales estará determinada por varios factores como lo son la raza, edad, sexo, índice de crecimiento, estado fisiológico, cantidad y forma química de los nutrientes ingeridos (Pond et al., 2002).

Los minerales funcionan como cofactores en la síntesis de enzimas, participan en procesos reproductivos y son vitales para un adecuado funcionamiento del sistema inmune (Salamanca, 2010). En general, se recomienda proporcionar 10 g de premezcla mineral por oveja al día (Romero & Bravo, 2012).

La suplementación mineral debe de ser balanceada. Los desbalances en el estado mineral del animal ocasionan un bajo apetito, bajas tasas de crecimiento, pobre desempeño reproductivo y se incrementa la susceptibilidad del animal a enfermedades (Romero & Bravo, 2012). Si hablamos de desbalance de microminerales, en ovejas el más común es el que involucra al cobre y selenio, pero en especial el primero, teniendo solo un pequeño margen para pasar de ser un requerimiento a ser un elemento tóxico. La intoxicación con cobre es común, se debe de verificar que su aporte en la ración no sobrepase las 25 ppm (Pond et al., 2002).

El estado fisiológico del animal determinará la cantidad de minerales a suplementar (Giraudó, 2011), por ejemplo las ovejas gestantes o lactando tienen mayores requerimientos de calcio y fósforo en comparación con las hembras vacías (Pond et al., 2002).

2.7. Funciones fisiológicas y reproductivas del zinc en la oveja

El zinc no se almacena por periodos prolongados en el organismo, es por eso que se necesita suministrar de manera continua, su deficiencia provoca una disminución en la fertilidad (Pond et al., 2002). Además ha sido demostrado que su suplementación reduce la muerte celular (Emonet et al., 1998). Este mineral cumple diferentes funciones durante la embriogénesis, dentro de las cuales destacan afectar la estructura de la cromatina, el funcionamiento del

ADN y el estatus celular antioxidante, y por ende la maduración del ovocito (Anchordoquy et al., 2010).

En rumiantes, el zinc suele ser de muy rápida absorción, con porcentajes de 35% hasta 70%. Esto se debe a la capacidad que tiene la flora microbiana del rumen de inactivar el fitato, el cual es un agente quelante que se une a ciertos cationes como el zinc (Gifford & Clydesdale, 1990). La absorción del zinc estará determinada por varios factores, uno de ellos es el método de presentación del mineral al animal, ya que se ha demostrado que el zinc-lisina y el zinc-metionina tienen mayor disponibilidad al ser orgánicos, comparado con el óxido de zinc que es una forma inorgánica del mineral (Kincaid et al., 1997). Existen tres formas conocidas de excreción del zinc, la vía digestiva, renal y en la leche, siendo las heces la vía de mayor excreción (Rosa et al., 2008). Por lo que se le atribuye al tracto gastrointestinal el mayor punto de regulación de zinc (Tapiero & Tew, 2003).

La concentración de Zn en el suero sanguíneo de las ovejas debe estar en un rango de 0,9 a 2.0 mg dm³⁻¹ (Underwood & Suttle, 2003). Aunque la importancia del Zn en la reproducción es muy notable, no se tienen datos relevantes de sus concentraciones en el licor folicular (Silberstein et al., 2009). Por otra parte, al analizar las concentraciones de zinc, se debe de considerar la edad del animal, ya que entre más joven sea, este presentará concentraciones más altas (González, et al., 2017).

La fecundación desencadena una serie de eventos en el ovocito conocidos como chispas de zinc, las cuales liberan el zinc ubicado en el citosol de las células, para llegar al espacio extracelular (Bleher et al., 2015). Estas chispas de zinc están relacionadas estrechamente con la activación de la partenogénesis. La activación de óvulos maduros, en la metafase II, provoca una estimulación, la cual desencadena la exocitosis del zinc a partir de vesículas, en una proporción promedio de 20% del contenido total de la célula (Duncan et al., 2016).

La amplitud de las chispas de zinc es mayor en la metafase II (Duncan et al., 2016), lo cual es necesario para mantener la estabilidad de esta fase (Vallejo, 2003). Las chispas de zinc están reguladas por un grupo de proteínas conocidas como metalotioninas, las cuales se encargan de controlar la concentración intracitoplasmática de zinc, tomando o cediendo átomos, conforme sea necesario (Tapiero & Tew, 2003). El zinc puede encontrarse en cigotos y embriones, participando en el crecimiento embrionario y en la organogénesis (Kambe et al., 2008).

Los ovocitos que tienen una concentración intracelular muy baja de zinc pueden ser fecundados, pero las probabilidades de que estos lleguen a su etapa de blastocisto es baja (Kim et al., 2010). Es importante mencionar que los datos que se tienen de el efecto de este mineral en el ovocito son reportados principalmente de experimentos *in vivo*, en donde se alteran las dietas de las madres gestantes o bien se suplementan de manera parenteral (Ashworth & Antipatis, 2001).

3. JUSTIFICACIÓN

El creciente número de habitantes y la demanda por alimentos de origen animal obliga a la búsqueda de estrategias que ayuden a maximizar la productividad de los sistemas de producción (Turk, 2016). En México, los ovinos se producen bajo distintos sistemas de producción, variando en cuanto a grado de tecnología y razas utilizadas (Partida de la Peña et al., 2017). Sin embargo, existen áreas como el Valle de Mexicali, donde esta actividad es considerada como de subsistencia y con bajo grado de tecnificación (Martínez-Partida et al., 2011). Por tanto, es necesario gestionar e impulsar, a través de proyectos de investigación, el desarrollo de esta actividad.

La productividad del rebaño puede ser mejorada mediante la combinación de la aplicación de biotecnologías reproductivas y la nutrición dirigida (Gifford & Gifford, 2013), suministrando nutrientes específicos durante la ocurrencia de eventos reproductivos de interés (Delgadillo & Martin, 2015). Estos nutrientes incluyen a los micro minerales, los cuales son esenciales para una gran variedad de funciones fisiológica en el animal y por ende necesarios para mantener su salud, producción y reproducción (López-Alonso, 2012). En un caso particular, el zinc, en la alimentación de ovinos con dietas deficientes en este mineral ocasionan una reducción en el consumo de alimento y en las ganancias de peso (Masters et al., 1985); mientras que en ratones se ha observado una disminución en la competencia del ovocito y un aumento en la muerte embrionaria (Tian & Diaz, 2012; Tian et al., 2014). De manera contraria, la suplementación de zinc por vía oral o inyectable ha mostrado ser efectiva en mejorar la fertilidad de cabras y bovinos (Anchordoquy et al., 2019; Kundu et al., 2014). Sin embargo, hay poca información relacionada con el efecto de la inyección de zinc en variables reproductivas en ovejas.

4. OBJETIVO

Medir el efecto de la aplicación subcutánea de óxido de zinc en el diámetro del folículo de mayor tamaño y porcentaje de gestaciones en ovejas sometidas a un protocolo de sincronización del celo.

5. HIPÓTESIS

Las ovejas inyectadas con óxido de zinc presentan un folículo de mayor tamaño, y mayor porcentaje de gestación, que las no suplementadas durante un protocolo de sincronización del celo.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación

El estudio se llevó a cabo en cinco unidades de producción de ovinos, ubicadas en el Valle de Mexicali, durante la época de fotoperiodo creciente (marzo-abril). El clima de la región es árido y seco (BWh), la precipitación promedio anual es de 85 mm y el rango de temperatura de 0 a 52 °C (García, 1988).

6.2 Animales y diseño experimental

Las unidades experimentales fueron 157 ovejas cruzadas (Dorper x Pelibuey x Katahdin) con al menos un parto, no lactando, y distribuidas en cinco unidades de producción (UP): UP1 (n=19), UP2 (n=27) UP3 (n=20) UP4 (n=71) y UP5 (n=21). En cada UP, las ovejas fueron asignadas de manera aleatoria a uno de tres tratamientos: control, z-100 y z-200. Las ovejas de los grupos z-100 y z-200 fueron inyectadas por vía subcutánea con 100 y 200 mg de óxido de zinc respectivamente (Zinc Óxido, Jalmek) disuelto en 4 mL de aceite de olivo, mientras que las ovejas del grupo control recibieron una inyección de 4 mL de aceite de olivo. Las inyecciones se aplicaron el día 9 del protocolo de sincronización del celo (día 0 fue el día en que se insertó el dispositivo intravaginal (CIDR). El número de ovejas asignadas a cada tratamiento dentro de cada UP fue como sigue, control: 6, 9, 7, 24 y 7; z-100:6, 9, 6, 24 y 7; z-200: 7, 9, 6, 23 y 7 para las UP1-5, respectivamente.

6.3 Alimentación

Las ovejas de la UP1 fueron alimentadas con una ración de 2 Kg día⁻¹ de una dieta compuesta (48% de alfalfa, 28.84% de ensilado de sudan y 23.07% de avena, tal como se ofrece). Las ovejas fueron alimentadas con revuelto henificado (mezcla de zacates bermuda (*Cynodon dactylon*), pinto (*Echinochloa colona*), de agua (*Echinochloa crus-galli*) Johnson (*Sorghum halepense*) y alfalfa (*Medicago sativa*)) ofrecido a libre acceso en las UP2-4.

La dieta de las ovejas en las UP2, UP3 y UP4 consistía en una mezcla de heno (zacates bermuda (*Cynodon dactylon*), pinto (*Echinochloa colona*), de agua

(*Echinochloa crus-galli*) Johnson (*Sorghum halepense*) y alfalfa (*Medicago sativa*)) *ad libitum*.

Las ovejas en la UP5 fueron pastoreadas en praderas con ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) a *ad libitum*. Las ovejas no recibieron ninguna suplementación mineral adicional antes, durante y después del experimento.

6.4 Manejo reproductivo

El celo de las ovejas fue sincronizado mediante la inserción intra-vaginal de un dispositivo liberador de progesterona (CIDR[®] ovis, Zoetis) por 12 días (día cero corresponde al día de inserción del CIDR). El día 10, fueron inyectadas con 350 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG, Novormon[®] 5000, Virbac). El día 12, los dispositivos intra-vaginales fueron retirados y las ovejas fueron inyectadas con 12.5 mg de dinoprost (Lutayse[®], Zoetis). –Posteriormente fueron inseminadas vía cervical, 28-30 h después de retirar CIDR, por un mismo técnico. El semen utilizado para la inseminación artificial fue extraído con vagina artificial, justo antes de la hora programada de inseminación, se determinó su concentración por medio de la cámara de Neubauer, y se diluyó con un medio comercial (Triladyl[®]). El semen diluido se mantuvo en hielo durante la inseminación de las ovejas, se utilizaron 300 millones de células espermáticas por cada oveja.

6.5 Variables de repuesta

Las variables de respuesta fueron: el diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño (FMT) antes de la inseminación y el porcentaje de gestación. El diámetro del FMT se midió, en cinco ovejas de cada grupo experimental y en cada UP, por ultrasonografía transrectal (Handscan V8, Sunway Medical), considerando las medidas horizontales y verticales del FMT (se observaron los dos ovarios y se determinó la posición y diámetro del FMT. El diagnóstico de gestaciones se llevó a cabo, por ultrasonografía transrectal, 30-35 días después de la inseminación artificial.

6.6 Análisis estadístico

Para la variable diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño, El supuesto de normalidad fue comprobado mediante la prueba de Saphiro-Wilks. Los datos de esta variable fueron analizados mediante ANOVA, considerando a las UP como bloques. Las medias de los grupos experimentales fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey. Los porcentajes de gestaciones fueron analizadas mediante la prueba exacta de Fisher. Los datos de porcentaje de gestaciones de la UP5 no fueron considerados en el análisis estadístico, esto debido a que se presentó una pérdida de muestra de semen, y las ovejas fueron inseminadas con una menor concentración de células espermáticas (100 millones). Un valor de $p \leq 0.05$ fue considerado como significativo. El paquete estadístico utilizado fue SAS University Edition.

7. RESULTADOS

El efecto de la inyección subcutánea de óxido de zinc en las medias de los diámetros de los folículos preovulatorios de mayor tamaño, medidos en los diferentes grupos experimentales, se observan en el Cuadro 1. En general los efectos de tratamiento, bloque y su interacción no fueron significativos ($p > 0.05$).

El efecto de la suplementación de óxido de zinc en los porcentajes de gestaciones de ovejas se muestra en la Figura 1. En general, no se observó una dependencia entre la suplementación de zinc y los porcentajes de gestaciones ($p > 0.05$).

Cuadro 1. Diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño (medias \pm error estándar) de ovejas inyectadas con 0 (control), 100 (z-100) y 200 (z-200) mg de óxido de zinc en cinco unidades de producción (UP1-UP5)

Grupo	Diámetro del folículo preovulatorio (mm)
Control	6.66 \pm 0.23
z-100	6.24 \pm 0.23
z-200	6.14 \pm 0.23
Bloque	
UP1	6.56 \pm 0.30
UP2	6.00 \pm 0.30
UP3	6.46 \pm 0.30
UP4	6.26 \pm 0.30
UP5	6.43 \pm 0.30

Medias con diferente letra difieren significativamente ($p \leq 0.05$)

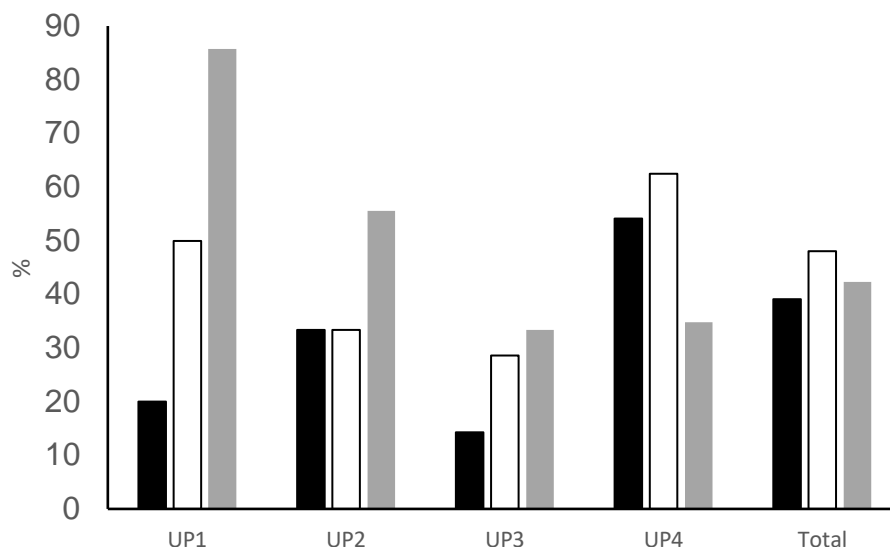


Figura 1. Porcentaje de gestaciones en ovejas de los grupos control (barras negras), z-100 (barras blancas) y z-200 (barras grises) en cuatro unidades de producción (UP1-4)

8. DISCUSIÓN

La suplementación mineral es esencial para una adecuada actividad reproductiva en el animal (López-Alonso, 2012). Esta puede llevarse a cabo por vía oral o intramuscular. Existe evidencia de que múltiples inyecciones de selenio y vitamina E, durante un protocolo de sincronización del celo, producen un incremento en el número de gestaciones en ovejas (Awawdeh et al., 2019). De manera similar la suplementación con zinc, por vía oral, es también efectiva en incrementar el porcentaje de gestaciones (Ali et al., 1998) y la prolificidad, posiblemente al disminuir la mortalidad embrionaria en ovejas (David G. Masters & Fels, 1980). Los resultados de los investigadores mencionados con anterioridad muestran que ambas vías de suplementación mineral son efectivas en mejorar el comportamiento reproductivo de la oveja. Sin embargo, en el caso del zinc, se ha reportado que la vía inyectable es más efectiva que la oral en restablecer los niveles sanguíneos de zinc en animales con

deficiencias en este mineral (Lamand et al., 1983), obteniendo concentraciones elevadas de este mineral a los tres días posteriores a la inyección (Lamand, 1978), las cuales pueden mantenerse hasta por 28 días (Lamand et al., 1980). Lo anterior indica que la vía inyectable asegura un suministro adecuado de micro minerales para un óptimo desempeño reproductivo (Stokes et al., 2017).

Los resultados obtenidos, en este trabajo, para la variable del diámetro FMT contradicen con lo reportado en vacas, observándose que la inyección con 400 mg de sulfato de zinc produjo un aumento en el diámetro del folículo preovulatorio (Anchordoquy et al., 2019). La diferencia entre resultados puede deberse al día en el que se aplicó la inyección de zinc, en el caso de Anchordoquy *et al.* (2019), la suplementación se llevó a cabo al inicio del protocolo de sincronización, brindando más tiempo de exposición del organismo animal al zinc. Se cree que la función del zinc a nivel folicular está más orientada hacia el ovocito (Ménézo et al., 2011), el cual es altamente sensible a deficiencias de zinc en las fases finales de su maduración (Tian & Diaz, 2012), observándose desarrollo embrionario retardado y pérdida de gestaciones cuando se provee una dieta deficiente de zinc, cuatro a cinco días antes de la ovulación (Tian et al., 2014). Lo anterior concuerda con el hecho de que las concentraciones intrafoliculares de este elemento se incrementan conforme aumenta el tamaño del folículo (Kor et al., 2013).

La suplementación mineral no estaba considerada dentro de los programas de alimentación de las UP en el presente estudio, por lo que se especuló que las ovejas se encontraban deficientes en este elemento y que su suplementación podría impactar el desarrollo folicular, la calidad del ovocito y porcentajes de gestaciones. Este estudio es limitado en cuanto a que se desconoce el balance mineral de los animales antes y después de la inyección con zinc. Además, no se evaluó la calidad del ovocito. Sin embargo, los resultados de porcentajes

de gestaciones obtenidos y la evidencia científica existente nos permite hacer algunas especulaciones:

Los resultados obtenidos en el porcentaje de gestaciones son contradictorios con los reportados en vacas (Anchordoquy et al., 2019) y cabras (Kundu et al., 2014), donde se observó un incremento en el porcentaje de gestaciones en animales inyectados (400 mg de sulfato de zinc) o suplementados por vía oral (100 ppm de óxido de zinc) con una fuente de zinc. Por otra parte, (Monem & El-Shahat, 2011) al igual que los resultados del presente estudio, reportaron un incremento numérico en el número de ovejas gestantes por efecto de la suplementación oral de zinc (50-150 ppm de óxido de zinc) .

El efecto benéfico de la suplementación del zinc en los porcentajes de gestaciones tiene, al menos en parte, sustento en que las concentraciones de este mineral son más elevadas en hembras gestantes que en vacías (Nazari et al., 2019). Además, la suplementación de este mineral, en condiciones *in vitro*, incrementa el número de ovocitos que alcanzan la etapa de blastocisto y su número celular (Choi et al., 2016; Jeon et al., 2014). A pesar de la ausencia de diferencias significativas en el porcentaje de gestaciones, se puede observar que en todas las UP, el número de ovejas gestantes es mayor, en al menos uno de los grupos suplementados con zinc, en comparación con el grupo control. Por tanto, se puede especular lo siguiente: la falta de diferencia significativa entre tratamientos pudo haberse debido al reducido tamaño de muestra utilizado en algunas UP, tales como la UP1 y UP2. Además, se puede sugerir que las características intrínsecas de cada UP, tales como el estado mineral inicial de los animales, influyó de manera diferenciada el porcentaje de gestaciones en respuesta a los niveles de zinc suplementados.

9. CONCLUSIÓN

La suplementación vía subcutánea de ovejas con óxido de zinc no afecta el diámetro del folículo preovulatorio de mayor tamaño o los porcentajes de gestaciones.

10. LITERATURA CITADA

- Abecia, J., Forcada, F., & González, A. (2012). Hormonal control of reproduction in small ruminants. *Animal Reproduction Science*, 130(3–4), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.01.011>
- Abecia, J., & Forcada, F. (2017). Efectos de la nutrición sobre la reproducción en la oveja. *Albeitar*, 22-24.
- Aguilar, C., Berruecos, J., Espinoza, B., Segura, J., Valencia, J., & Roldán, A. (2017). Origin, history and current situation of pelibuey sheep in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 429–439.
- Anchordoquy, J., Anchordoquy, J., Mattioli, G., Picco, S., Rosa, D., Peral, P., Errecalde, A., & Furnus, C. (2010). Importancia del zinc durante la maduración in vitro de ovocitos: consecuencias en el desarrollo embrionario temprano. *Tercera Época*, 2(1), 1-1.
- Anchordoquy, J. M., Anchordoquy, J. P., Galarza, E. M., Farnetano, N. A., Giuliadori, M. J., Nikoloff, N., Fazzio, L. E., & Furnus, C. C. (2019). Parenteral zinc supplementation increases pregnancy rates in beef cows. *Biological Trace Element Research*, 192(2), 175–182. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-1651-8>

- Arellano-Lezama, T., Hernández-Marin, J. A., Cortez-Romero, C., Morales-Terán, G., & Gallegos-Sánchez, J. (2010). "Efecto macho" en el manejo reproductivo de la oveja. *Agro Productividad*, 6(October), 3–8.
- Arroyo, J. (2011). Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 829–845.
- Ashworth, C. J., & Antipatis, C. (2001). Micronutrient programming of development throughout gestation. *Reproduction*, 122(4), 527–535. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1220527>
- Atuesta, J. (2011). Control hormonal del ciclo estral en bovinos y ovinos. *Spei Domus*, 7(14), 15–25.
- Awawdeh, M. S., Eljarah, A. H., & Ababneh, M. M. (2019). Multiple injections of vitamin E and selenium improved the reproductive performance of estrus-synchronized Awassi ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1421–1426. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01826-0>
- Banchero, G., San-Julian, R., Montossi, F., Berretta, E. J., & Zamit, W. (1997). Suplementacion mineral de borregas pastoreando campo natural de basalto. *INIA*. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9625/1/SAD145cap2p34-36.pdf>
- Bittman, E., Dempsey, R., & Karsch, F. (1983). Pineal melatonin secretion drives the reproductive response to daylength in the ewe. *Endocrinology*, 113(6), 2276–2283. <https://doi.org/10.1210/endo-113-6-2276>
- Bleher, R., Emily, L., Duncan, F., Kong, B., Gleber, S., Vogt, S., Chen, S., Garwin, S. A., Bayer, A. R., Dravid, V. P., Woodruff, T. K., & O'Halloran, T. V. (2015). Quantitative mapping of zinc fluxes in the mammalian egg

reveals the origin of fertilization-induced zinc sparks. *Nature Chemistry*, 7(2), 130–139. <https://doi.org/10.1038/nchem.2133>

Bobadilla, E., Flores, J., & Perea, M. (2017). Comercio exterior del sector ovino mexicano antes y después del tratado de libre comercio con América del Norte. *Economía y Sociedad*, XXI(37), 35–49.

Briggs, H. (1936). Some effects of breeding ewe lamb. *Agricultural experiment Station. North Dakota E.E.U.U*, Exp. Sta. Bull. USA. 285p.

Buratovich, O. (2010a). Eficiencia reproductiva en ovinos: factores que la afectan. *INTA*, 36, 155–158

Buratovich, O. (2010b). Eficiencia reproductiva en ovinos: Factores que afectan. Parte II: Otros factores no nutricionales. *Ganadería*, 36(34), 163–166.

Cadena, S., & Cortez, C. (2012). Aplicación de biotecnologías reproductivas para el mejoramiento genético de rebaños de ovinos. *AGRO Productividad*, 5, 25–33.

Candelaria, B., Flota, C., & Castillo, L. (2015). Caracterización de los agroecosistemas con producción ovina en el oriente de Yucatán, México. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 225. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19278>

Caravaca., F., Castel, J., Guzman, J., Delgado, M., & Mena, Y. (2003). Bases de la reproducción animal. (1ra ed.). *Servicio de publicaciones Universidad de Cordova. España*. 512 p.

Choi, Y. H., Gibbons, J. R., Canesin, H. S., & Hinrichs, K. (2016). Effect of medium variations (zinc supplementation during oocyte maturation,

perifertilization pH, and embryo culture protein source) on equine embryo development after intracytoplasmic sperm injection. *Theriogenology*, 86(7), 1782–1788. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.05.037>

Chu, M., Zhuang, H., Zhang, Y., Jin, M., Li, X., Di, R., Cao, G., Feng, T., & Fang, L. (2011). Polymorphism of inhibin β B gene and its relationship with litter size in sheep. *Animal Science Journal*, 82(1), 57–61. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00813.x>

Cordova, A., Iglesias, A., Guerra, E., Villa, A., Huerta, R., & Sanchez, S. (2019). Uso de esponjas intravaginales comerciales vs caseras , para la sincronización de estros de ovejas anéstricas ancestral sheep. *Abanico Agroforestal*, 1(1), 1-10.

Cuéllar, G. A., Jiménez, L. M., Grajales, H. A., Mendoza, L. F., Leal, J. D., & Sánchez, C. A. (2015). Factores que influyen la prolificidad en ovinos del centro agropecuario Marengo, Colombia. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 6, 460–465.

Delgadillo, J. A., & Martin, G. B. (2015). Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Animal Frontiers*, 5(1), 57–65. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0009>

Duggavathi, R. (2004). Dynamics and regulation of ovarian antral follicular waves in sheep. Degree of Doctor in Philosophy. *College of Graduate Studies, University of Saskatchewan*. 246 p.

Duncan, E., Que, E., Zhang, N., Feinberg, E., O'Halloran, T., & Woodruff, T. (2016). The zinc spark is an inorganic signature of human egg activation. *Scientific Reports*, 6, 9. <https://doi.org/10.1038/srep24737>

- Emonet, N., Richard, M. J., Ravanat, J. L., Signorini, N., Cadet, J., & Béani, J. C. (1998). Protective effects of antioxidants against UVA-induced DNA damage in human skin fibroblasts in culture. *Free Radical Research*, 29(4), 307–313. <https://doi.org/10.1080/10715769800300341>
- Errazola, P., S, M., & Tafernaberry, F. (2014). Efecto del flushing on suplementos de diferentes concentraciones de taninos sobre la tasa ovulatoria en ovinos. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 2071–2079. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007>
- Fernandez, A. (2007). El flushing: una herramienta para incrementar la tasa ovulatoria de los ovinos. *Lana noticias Sul*, 145, 112–116.
- Fitzgerald, J., & Ithaca, S. (1982). Dietary and seasonal effects modulating luteinizing hormone secretion and first ovulation of puberty ewe. *Biology of Reproduction*, 27(4), 864–870.
- Fleisch, A., Werne, S., Heckendorn, F., Hartnack, S., Piechotta, M., Bollwein, H., Thun, R., & Janett, F. (2012). Comparison of 6-day progestagen treatment with Chronogest® CR and Eazi-breed™ CIDR® G intravaginal inserts for estrus synchronization in cyclic ewes. *Small Ruminant Research*, 107(2–3), 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.014>
- Flores, J. A., Véliz, F. G., Pérez, J. A., Martínez, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpoux, B., & Delgadillo, J. A. (2000). Male reproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anestrus in female goats. *Biology of Reproduction*, 62(5), 1409–1414. <https://doi.org/10.1095/biolreprod62.5.1409>
- Garcia, E. (1988). Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen (4.ª ed.). *Editorial Universidad Nacional Autónoma de México*.

- Gibbons, A., & Cueto, M. (2013). Manual de transferencia de embriones en ovinos y caprinos. 2da Ed. INTA, Argentina, 44 p.
- Gifford, J. A. H., & Gifford, C. A. (2013). Role of reproductive biotechnologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers*, 3(3), 14–19. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0019>
- Gifford, R., & Clydesdale, F. (1990). Interactions Among Calcium, Zinc and Phytate with Three Protein Sources. *Journal of Food Science*, 55(6), 1720–1724. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03608.x>
- Giraudó, C. (2011). Suplementación de Ovinos y Caprinos. 1ra ed. INTA, Argentina. 54 p.
- Gómez, A., Santiago, J., Toledano, A., & López, A. (2012). Reproductive seasonality and its control in spanish sheep and goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 25.
- González, A., García, F., Zárate, P., Juárez, J., Ibarra, M., Limas-M, A., & Martínez, J. (2017). Zinc, cobre y hierro sérico en ovejas de pelo con suplementación parenteral de minerales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(4), 706. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i4.12574>
- González, A., Urrutia, J., & Gámez, H. (2014). Comportamiento reproductivo de ovejas Dorper y Katahdin empadradas en primavera en el norte de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 123–127.
- González, S., Ortega, J., Danés, A., Félix, M., Flores, C., Coronel, H., & Flores, L. (2010). Tecnologías para mejorar la producción ovina en México. *Revista Fuente*, 2(5), 41–51. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/02-05/5.pdf>

- Goodman, R. (1994). Neuroendocrine control of the ovine estrous cycle. *In* The Physiology of Reproduction Third Edition, E.E.U.U. 659–710.
- Goodman, R., & Inskeep, E. (2006). Neuroendocrine control of the ovarian cycle of the sheep. *In* Knobil and Neill's Physiology of Reproduction, U.S.A. 2389–2447.
- Hafez, E. (1987). Reproducción e inseminación artificial en animales. 5a ed. South Carolina-USA. 694 p
- Itzaina, B., Montaña, V., & Baroffio, H. (2010). Efecto del temperamento sobre la tasa ovulatoria y la eficiencia de concepción en ovejas merino. Ingeniero Agrónomo, Universidad de la República, 60 p.
- Jeon, Y., Yoon, J. D., Cai, L., Hwang, S. U., Kim, E., Zheng, Z., Lee, E., Kim, D. Y., & Hyun, S. H. (2014). Supplementation of zinc on oocyte invitro maturation improves preimplatation embryonic development in pigs. *Theriogenology*, 82(6), 866–874. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.021>
- Juarez-Perez, A., Dominguez-Rebolledo, A., Pinzón-Lopez, L., Aguolar-Urquizo, E., Rivera-Lorca, J. & Ramón-Ugalde, J. P. (2018). Estacionalidad reproductiva en ovejas tropicales superovuladas. *Agroproductividad*, 11(10), 133–135.
- Kambe, T., Weaver, B., & Andrews, G. (2008). The genetics of essential metal homeostasis during development. *Genesis*, 46(4), 214–228. <https://doi.org/10.1002/dvg.20382>
- Kim, A., Vogt, S., O'Halloran, T., & Woodruff, T. (2010). Zinc availability regulates exit from meiosis in maturing mammalian oocytes. *Nature Chemical Biology*, 6(9), 674-981. 10.1038/nchembio.419

- Kincaid, R. L., Chew, B. P., & Cronrath, J. D. (1997). Zinc oxide and amino acids as sources of dietary zinc for calves: effects on uptake and immunity. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1381–1388. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76067-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76067-3)
- Kor, N. M., Khanghah, K. M., & Veisi, A. (2013). Follicular fluid concentrations of biochemical metabolites and trace minerals in relation to ovarian follicle size in dairy cows. *Annual Research & Review in Biology*, 3(4), 397–404.
- Kundu, M. S., De, A. K., Jeyakumar, S., Sunder, J., Kundu, A., & Sujatha, T. (2014). Effect of zinc supplementation on reproductive performance of Teressa goat. *Veterinary World*, 7(6), 380–383. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2014.380-383>
- Lamand, M. (1978). Copper and zinc deficiencies treatment by intramuscular injections in sheep. *Annales de Recherches Veterinaires*, 9(3), 495–500. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/749645/>
- Lamand, M., Lab, C., Mignon, M., & Tressol, J. C. (1983). A zinc-deficient diet for ruminants: Diagnosis and treatment of deficiency. *Annales de Recherches Veterinaires*, 14(3), 211–215.
- Lamand, M., Lab, C., & Tressol, J. C. (1980). Comparison of the efficiency of zinc injected as metal or oxide for zinc deficiency treatment in sheep. *Annales de Recherches Veterinaires*, 11(2), 147–149.
- López-Alonso, M. (2012). Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Veterinary Science*, 2012, 1–18. <https://doi.org/10.5402/2012/704825>
- Maltos, R. (2013). Efecto de la suplementación sobre el inicio de la pubertad en la borrega Tabasco y Pelibuey. Doctor en Producción Animal. Universidad Nacional Autónoma de México, 135 p.

- Martínez-Partida, J., Jiménez-Sánchez, L., Herrera-Haro, J., Valtierra-Pacheco, E., Sánchez-López, E., López-Reyna, M., & Martínez, J. (2011). Ganadería ovino - caprina en el marco del programa de desarrollo rural en Baja California. *Universidad y Ciencia*, 27(3), 331–344. <https://doi.org/10.19136/era.a27n3.113>
- Marshall, F. (1905). Fertility in Scottish sheep. Proceedings of the Royal Society of London. *Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 77(514), 58–62. <https://doi.org/10.1098/rspb.1905.0057>
- Mart, E., Mu, M., Garc, G., Santoyo, V., Altamirano, R., & Romero, C. (2011). El fomento de lo ovinocultura familiar en México mediante subsidios en activos: lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 367–377.
- Masters, D. G., Chapman, R. E., & Vaughan, J. D. (1985). Effects of zinc deficiency on the wool growth, skin and wool follicles of pre-ruminant lambs. *Australian Journal of Biological Sciences*, 38(4), 355–364. <https://doi.org/10.1071/BI9850355>
- Masters, David G., & Fels, H. E. (1980). Effect of zinc supplementation on the reproductive performance of grazing Merino ewes. *Biological Trace Element Research*, 2(4), 281–290. <https://doi.org/10.1007/BF02783826>
- McCann, Goode, L., Harvey, R. W., & Caruolol, E. (1989). Effects of rapid weight gain to puberty on reproduction, mammary development and lactation in ewe lambs. *Theriogenology*, 32, 55–68. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-691x\(89\)90521-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0093-691x(89)90521-9)

- Ménézo, Y., Pluntz, L., Chouteau, J., Gurgan, T., Demiroglu, A., Dalleac, A., & Benkhalifa, M. (2011). Zinc concentrations in serum and follicular fluid during ovarian stimulation and expression of Zn²⁺ transporters in human oocytes and cumulus cells. *Reproductive BioMedicine Online*, 22(6), 647–652. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2011.03.015>
- Monem, U. M. A., & El-Shahat, K. H. (2011). Effect of different dietary levels of inorganic zinc oxide on ovarian activities, reproductive performance of egyptian baladi ewes and growth of their lambs. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*, 14(2), 116–123.
- Montossi, F., Barbieri, I. De, Nolla, M., Luzardo, S., & Mederos, A. (2004). El manejo de la condición corporal en la oveja de cría: Una herramienta disponible para la mejora de la condición corporal. *INIA*, 33, 49–60. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12852/1/sad-401-p49-60.pdf>. Última consulta en agosto de 2021.
- Nazari, A., Dirandeh, E., Ansari-Pirsaraei, Z., & Deldar, H. (2019). Antioxidant levels, copper and zinc concentrations were associated with postpartum luteal activity, pregnancy loss and pregnancy status in Holstein dairy cows. *Theriogenology*, 133, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.04.034>
- Partida de la Peña, J. A., Ríos Rincón, F. G., Colín, C., Domínguez Vara, I. A., & Buendía Rodríguez, G. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 269–277.
- Pérez, A., Santamaria, E., Operario, D., Tarkang, E., Zotor, F., & Cardoso, S. (2017). Importancia económica, ambiental y social de la producción ovina en el área de protección de flora y fauna nevado de Toluca. *BMC Public Health*, 5(1), 1–8.

- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2002). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ED. Limusa, México. 633 p.
- Rinehart, L. (2008). Nutrición para Rumiantes en Pastoreo. ATTRA - Servicio Nacional de Información de Agricultura Sostenible. Disponible en: <https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=248>. Última consulta en agosto de 2021.
- Rodríguez, M. (2006). Receptores de las hormonas esteroideas sexuales en cervix ovino. Maestro en Reproducción Animal. Universidad de la Republica, Uruguay, 59 p.
- Romero Martinez, J. (2005). Antecedentes de la ovinocultura en México. *Apuntes de Zootecnia Ovina*. Disponible en: https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_4_ovinos.pdf. Última consulta en agosto de 2021.
- Romero, O., & Bravo, S. (2012). Alimentación y nutrición en los ovinos. Disponible: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR38521.pdf>. Última consulta en agosto de 2021.
- Rosa, D. E., Fazzio, L. E., Picco, S. J., Furnus, C. C., & Mattioli, G. A. (2008). Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. *Analecta Veterinaria*, 28(2), 34–44.
- Salamanca, A. (2010). Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(9), 1–10.
- Scaramuzzi, R., Campbell, B., Downing, J., Kendall, N., Khalid, M., Muñoz, M., & Somchit, A. (2006). A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones

and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reproduction Nutrition Development*, 46(4), 339–354. <https://doi.org/10.1051/rnd:2006016>

Silberstein, T., Saphier, O., Paz-Tal, O., Gonzalez, L., Keefe, D., & Trimarchi, J. (2009). Trace element concentrations in follicular fluid of small follicles differ from those in blood serum, and may represent long-term exposure. *Fertility and Sterility*, 91(5), 1771–1774. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.02.007>

Smith, J. F. (1988). Influence of nutrition on ovulation rate in the ewe. *Australian Journal of Biological Sciences*, 41(1), 27–36. <https://doi.org/10.1071/BI9880027>

Sosa-Perez, G., Perez-Hernández, P., Vaquera-Huerta, H., Salazar-Ortiz, J., Sanchez-del-Real, Cadena-Villegas, S., & Gallegos-Sánchez, J. (2014). Somatotropina bovina recombinante en sincronización de estros y prolificidad de ovejas pelibuey. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), 219–222.

Stewart, R. (1990). The effect of nutrition on the ovulation rate of the ewe. Doctor en Producción Animal. Department of Animal Science. University of Western Australia, 206 p.

Stokes, R. S., Ralph, A. R., Mickna, A. J., Chapple, W. P., Schroeder, A. R., Ireland, F. A., & Shike, D. W. (2017). Effect of an injectable trace mineral at the initiation of a 14 day CIDR protocol on heifer performance and reproduction. *Translational Animal Science*, 1(4), 458–466. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0050>

Tapiero, H., & Tew, K. (2003). Trace elements in human physiology and pathology: Zinc and metallothioneins. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 57(9), 399–411. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(03\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(03)00081-7)

- Taylor, K., Allison, C., Joyce, D., & Bazer, S. (2000). Neonatal ovine uterine development involves alterations in content of receptors for estrogen, progesterone, and prolactin. *Biology of Reproduction*, 63, 1192–1204.
- Tian, X., & Diaz, F. (2012). Acute dietary zinc deficiency before conception compromises oocyte epigenetic programming and disrupts embryonic development. *Developmental Biology*, 23(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2013.01.015>. Acute
- Tian, Xi, Anthony, K., Neuberger, T., & Diaz, F. J. (2014). Preconception zinc deficiency disrupts postimplantation fetal and placental development in mice. *Biology of Reproduction*, 90(4), 1–12. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.113.113910>
- Theusme, C., Avendaño, L., Macías, U., Correa, A., García, R. O., Mellado, M., Vargas, L., & Vicente, A. (2021). Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *Science of the Total Environment*, 751, 49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141779>
- Tosti, E. (2006). Calcium ion currents mediating oocyte maturation events. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-26>
- Turk, J. (2016). Meeting projected food demands by 2050: Understanding and enhancing the role of grazing ruminants. *Journal of Animal Science*, 94(August), 53–62. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0547>
- Underwood, E. J., & Suttle, N., F. (2003). Los minerales en la nutrición del ganado. 3° ed. *Acribia, España*. 648 p.

Vallejo, J. (2003). Inducción de la partenogénesis en ovocitos de mamíferos. *Revista Iberoamericana de Fertilidad*, 20(3), 177–187.

Viñoles, C. (2003). Effect of nutrition on follicle development and ovulation rate in the ewe. Doctorado en Ciencias Agrícolas, Swedish University of Agricultural Sciences, 56 p.