



POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DEL SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN ZOOTÉCNICA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF SPERM SEXING IN SHEEP AND ITS ZOOTECNICAL ZOOTECNICAL REPERCUSSION IN PRODUCTIVE SYSTEMS.

JESÚS ELIAS ORTIZ CLAVIJO

Trabajo de grado opción Monografía

Presentado como requisito parcial para optar al título de
ZOOTECNISTA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA

Fusagasugá, 3 de enero de 2024

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Quisiera expresar mi agradecimiento a los docentes de la Universidad de Cundinamarca del programa de Zootecnia, los cuales permitieron mi formación académica y profesional y en especial a mi tutor por la colaboración, análisis, retroalimentación, paciencia y comprensión para culminar con la elaboración de este trabajo de grado.

Esta monografía es dedicada a mis padres, familiares, novia y amigos que me apoyaron durante este proceso de aprendizaje y permitieron que esto fuese posible, quienes me enseñaron a afrontar las dificultades y estuvieron en los momentos buenos y malos.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-------------------------------|
| LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS SÍMBOLOS Y UNIDADES..... | 5 |
| LISTA DE ILUSTRACIONES..... | 7 |
| LISTA DE TABLAS..... | 8 |
| LISTA DE ANEXOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| RESUMEN..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 14 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 16 |
| OBJETIVOS..... | 18 |
| ESTADO DEL ARTE..... | 19 |
| 1. Generalidades del Sistema Reproductivo del Macho Ovino..... | 19 |
| 1.1.1. <i>Testículos</i> | 20 |
| 1.1.2. <i>Epidídimo</i> | 20 |
| 1.1.3. <i>Escroto</i> | 20 |
| 1.1.4. <i>Glándulas anexas</i> | 21 |
| 1.1.5. <i>Glándulas ampollares</i> | 21 |
| 1.1.6. <i>Glándulas vesiculares</i> | 22 |
| 1.1.7. <i>Próstata</i> | 22 |
| 1.1.8. <i>Glándulas bulbo uretrales o de Cowper</i> | 23 |
| 1.1.9. <i>Pene</i> | 23 |
| 1.2. Espermatogénesis..... | 23 |
| 1.2.1. <i>Espermatocitogénesis</i> | 24 |
| 1.2.2. <i>Meiosis</i> | 24 |
| 1.2.3. <i>Espermiogénesis</i> | 24 |
| 1.2.4. <i>Control Hormonal de la Espermatogénesis</i> | 26 |
| 1.3. Obtención del Semen Ovino..... | 26 |
| 2. Generalidades del Sistema Reproductivo de la Hembra Ovina..... | 27 |
| 2.1. Ovarios..... | 27 |
| 2.2. Oviductos..... | 28 |
| 2.3. Útero..... | 28 |

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

| | |
|---|-------------------------------|
| 2.4. Cérvix | 28 |
| 2.5. Vagina | 29 |
| 2.6. Vulva | 29 |
| 2.7. Parámetros Reproductivos del Macho y de la Hembra Ovina | 29 |
| 3. Sexado de Semen Ovino | 30 |
| 4. Técnicas Usadas en el Sexaje de Espermatozoides | 31 |
| 4.1. Clasificación de Células Activadas por Fluorescencia (FACS) | 31 |
| 4.2. Método Inmunológico de Sexado de Semen | 33 |
| 4.3. Sexado en un Citómetro de Flujo | 34 |
| 4.4. Sexado por Centrifugación en Gradiente de Densidad Percoll | 36 |
| 4.5. Nano Partículas | 37 |
| 5. Beneficios Potenciales del Uso del Semen Sexado | 38 |
| 5.1. Mejoramiento Genético | 38 |
| 5.2. Producción de Embriones (PE) con Semen Sexado | 39 |
| 5.2.1. Criopreservación de Embriones | 41 |
| 5.3. Implicaciones económicas | 42 |
| 5.4. Rentabilidad | 43 |
| DISCUSIÓN | 45 |
| CONCLUSIONES | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA | 51 |
| ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS SÍMBOLOS Y UNIDADES

| | |
|------|--|
| IA | Inseminación Artificial |
| TE | Transferencia de Embriones |
| ADN | Ácido Ribonucleico |
| UV | Ultra Violeta |
| MACS | Clasificación de Células Activadas Magnéticamente |
| FACS | Clasificación de Células Activadas por Fluorescencia |
| NPM | Nano Partículas Magnéticas |
| VA | Vagina Artificial |
| nm | Nano Metros |
| A | Adenina |
| T | Timina |
| PCR | Reacción en Cadena de la Polimerasa |
| mV | Mili Voltios |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| cm | Centímetros |
| PE | Producción de Embriones |
| PV | Peso Vivo |
| CC | Condición corporal |
| ABP | Proteína Fijadora de Andrógenos |

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

| | |
|-----|------------------------------|
| FSH | Hormona Folículo Estimulante |
| LH | Hormona Luteinizante |
| DA | Días Abiertos |
| IEP | Intervalo Entre Partos |
| E2 | Estrógenos |
| P4 | Progesterona |
| SSP | Sex Specific Protein |

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN
SISTEMAS PRODUCTIVOS.

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|-----------|
| Ilustración 1. Sistema reproductor del macho Ovino. | 19 |
| Ilustración 2. Costo de producción de diluyentes de conservación y técnicas de sexado de espermatozoides. | 44 |
| Ilustración 3. Comparación de técnicas de sexado/criopreservación de semen de pequeños rumiantes. | 44 |



TRABAJO DE GRADO OPCIÓN MONOGRAFÍA
SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN
SISTEMAS PRODUCTIVOS.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros reproductivos en el macho y la hembra Ovina **29**

RESUMEN

Ante el incremento de la población mundial y las limitaciones en el uso de la tierra que pueden surgir entre las actividades humanas y la producción pecuaria y agrícola, cobran relevancia alternativas como la producción ovina. Esta especie se destaca por sus múltiples ventajas, entre las que sobresalen su ciclo generacional corto y su gran capacidad de adaptación al trópico. De este modo, demuestra ser productiva y rentable con una mínima inversión económica, incluso en ambientes donde otras especies no logran alcanzar los mismos niveles de sostenibilidad, logran los mismos niveles de sostenibilidad. Si se le complementa con estrategias biotecnológicas como la inseminación artificial, colecta y transferencia de embriones o sexaje de células espermáticas, entre otras, se logra maximizar el potencial productivo a través de la difusión y mejora de características genéticas y fenotípicas deseables en el sistema productivo. El objetivo de este texto es determinar el potencial biotecnológico que tiene el uso de espermatozoides sexados y su impacto zootécnico en producciones ovinos. Entre las técnicas de sexaje disponibles se encuentran la citometría de flujo, la clasificación de células activadas por fluorescencia (FACS), el sexaje inmunológico, el sexado por gradientes y el sexado por nanopartículas. Estas técnicas se diferencian principalmente en la facilidad y el tiempo de aplicación, y en algunos casos, en la efectividad que pueden alcanzar. Las ventajas zootécnicas que se pueden obtener con estas biotecnologías se basan en la reducción de costos con el manejo de animales no deseados, aumento en la tasa de preñez, producción de embriones según la conveniencia zootécnica del sexo de la cría, comercialización del semen a distintos lugares y potencialización de las producciones ovinas. La utilización de semen sexado es una herramienta tecnológica con un vasto potencial para mejorar la eficiencia reproductiva, disminución del tiempo generacional, el control sobre la descendencia y la genética de los



SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

rebaños ovinos. Sin embargo, es importante considerar sus costos y limitaciones antes de realizar su implementación.

Palabras clave: Biotecnologías, citometría, reproducción, sexaje de espermatozoides.

ABSTRACT

In the face of a growing global population and land use limitations that may arise between human activities and livestock and agricultural production, alternatives such as sheep production are gaining importance. This species stands out for its multiple advantages, including its short generation cycle and its great adaptability to tropical environments. In this way, it proves to be productive and profitable with minimal economic investment, even in environments where other species fail to achieve the same levels of sustainability. If complemented by biotechnological strategies such as artificial insemination, embryo collection and transfer, or sperm cell sexing, among others, it is possible to maximize productive potential through the dissemination and improvement of desirable genetic and phenotypic characteristics in the production system. The objective of this text is to determine the biotechnological potential of using sexed sperm and its zootechnical impact on sheep production. Among the available sexing techniques are flow cytometry, fluorescence-activated cell sorting (FACS), immunological sexing, gradient sexing, and nanoparticle sexing. These techniques differ mainly in the ease and time of application, and in some cases, in the effectiveness they can achieve. The zootechnical advantages that can be obtained with these biotechnologies are based on the reduction of costs associated with the management of unwanted animals, an increase in the pregnancy rate, the production of embryos according to the zootechnical convenience of the sex of the offspring, the commercialization of semen to different places, and the potentialization of sheep production. The use of sexed semen is a technological tool with great potential to improve reproductive efficiency, reduce generation time, control offspring, and the genetics of sheep flocks. However, it is important to consider its costs and limitations before implementing it.

Keywords: Biotechnologies, cytometry, reproduction, sperm sexing.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que para el año 2050 la población mundial aumentará en 10 millones de personas, lo que provocará un incremento de casi el 50% en la demanda de alimentos y algunos productos agrícolas (FAO, 2017) y a medida que se presenten estas altas demandas se tendrá una disputa por la capacidad de las tierras entre el hombre y las producciones pecuarias y agrícolas, por lo tanto, es necesario generar estrategias que permitan satisfacer las necesidades de la población de forma económica, saludable y ambientalmente responsable (Thornton, 2010) y gracias a que los pequeños rumiantes como los ovinos y caprinos tienen un fácil manejo, requieren una inversión inicial pequeña, tienen un intervalo generacional relativamente corto y poseen altos valores nutricionales, lo cual permite que sea una alternativa eficiente para cumplir con las necesidades de las poblaciones (González et al, 2021b).

Debido a la rusticidad y su fácil adaptación que tienen al medio ambiente Colombiano, la producción ovino-caprina ha venido aumentando en los últimos años, teniendo en cuenta los diversos recursos alimenticios que se tienen en las distintas regiones del país, así mismo se logra tener una gran eficiencia en algunos pilares importantes de la zootecnia como la reproducción, alimentación y manejo donde se debe lograr la mayor rentabilidad con los recursos que se encuentran disponibles en las regiones y se busca la mejora de las características que están acorde a las necesidades de los productores y a su vez permitir la comercialización de productos y subproductos que se pueden obtener de estas especies como la leche, carne, pieles y estiércol (Ramírez, 2022).

Teniendo en cuenta el censo ovino que es reportado por parte del (ICA, 2023) se tiene una población de ovinos de 1.819.247 animales, de los cuales el 70,7% corresponden a hembras y el restante 29,3% corresponden a machos, se encuentran distribuidos en 10 departamentos de

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

los 32 departamentos que tiene el país, donde quien lidera la lista con la mayor población de ovinos es la Guajira (44,4%), seguido de Cesar (12,0%), Magdalena (11,7%), Boyacá (8,9%), Córdoba (3,3%), Santander (2,7%), Meta (2,4%), Cundinamarca (1,9%), Bolívar (1,8%) y Tolima (1,7%).

Los ovinos tienen ciclos de reproducción cortos y su estro está regulado por factores como el fotoperiodo y la estacionalidad. En Colombia, el ciclo estral varía según la latitud. En regiones de latitudes bajas, los cambios fotoperiódicos son más cortos, lo que resulta en épocas de reproducción más cortas o asociadas a prácticas de manejo como la alimentación y la temperatura. Esto permite que en países no estacionales, como Colombia, los ovinos puedan entrar en gestación en cualquier época del año (Lozano, 2014), gracias a estas adaptaciones se aprovecha de estos eventos y con la ayuda de herramientas biotecnológicas se obtienen animales que tengan un alto valor genético, ya sea por su capacidad para producir leche, carne o piel y teniendo en cuenta los objetivos que se tengan en las distintas unidades productivas son usadas técnicas como la Inseminación Artificial (IA), el Sexaje de Espermatozoides, la Transferencia de Embriones (TE), la inducción y sincronización del estro, entre otras.

De este modo, el objetivo de la presente investigación es lograr revisar de manera literaria el potencial biotecnológico que tiene el sexado de espermatozoides ovinos y su impacto zootécnico al ser usado en producciones ovinas.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

DEFINICIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sostenibilidad de las producciones ganaderas, como la bovina, ovina, caprina, porcina y avícola, depende del manejo adecuado de los ciclos productivos y de parámetros como la nutrición, el manejo, la salud, la genética y la reproducción. En este sentido, la implementación de biotecnologías es una estrategia indispensable para maximizar el potencial productivo de estos sistemas y satisfacer las necesidades de consumo de la población global. Profesionales como veterinarios, zootecnistas y otros especialistas desempeñan un papel fundamental en la cadena de producción al aplicar conceptos y teorías biotecnológicas (Lozano, 2014).

En estos procesos ganaderos, es fundamental considerar parámetros como la producción, la sanidad y la reproducción. Estos últimos son especialmente importantes en la producción ovina, ya que determinan el crecimiento y el éxito de la misma. El control de los parámetros reproductivos asegura el desarrollo, la sustentabilidad y la eficiencia de la cadena de producción (González et al, 2011), es importante generar estrategias que permitan la selección de animales que sean genéticamente superiores, generar los reemplazos de hembras adecuados, realizar el cruce genético de la mejor manera, aprovechando la genética, el medio ambiente y el manejo que se le brinda a los animales, la detección de celos, la inducción de celos, el manejo de los machos y el uso de biotecnologías que permitan mejorar el sistema productivo (Duque et al, 2011), teniendo en cuenta que en muchas de las producciones ovinas los principales problemas que afectan la productividad de las explotaciones se asocian a problemas que van ligados a la reproducción, al manejo y la genética, donde se destacan algunos factores como: época del año, el cual se ve reflejado en el animal a través del fotoperiodo, la nutrición, donde es importante destacar que la tasa de ovulación se ve afectada positiva o negativamente cuando el peso vivo (PV) o la condición corporal (CC) del animal es alta o baja respectivamente, el estrés, los efectos que pueden tener los animales al estar

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

sometidos bajo estrés se logran manifestar con la demora o la no aparición del comportamiento sexual, la disminución en las tasas de ovulación y la reducción en la espermatogénesis y puede variar de acuerdo al tipo de estrés y la intensidad a la que sea sometida el animal, existen otros factores genéticos que afectan los comportamiento reproductivos de los animales como la duración del ciclo estral y las diferencias entre los parámetros reproductivos como la fertilidad, tasa de ovulación y la diferencia que se puede llegar a presentar entre razas (Muñoz, 2001).

Gibbons *et al*, (2020) indica que se puede ver afectada la tasa de preñez en las hembras ovinas debido a que no se cuenta con la CC adecuada de los animales y debido a las prácticas de manejo post destete que se llevan a cabo en las producciones, pero una más importante es la cantidad de machos o carneros que se pueden llegar a tener en las producciones, ya que esto puede alterar la posibilidad entre el encuentro del macho y la hembra y adicional a esto se puede ver alterado el intercambio generacional y tener problemas genéticos en las producciones.

Lo que se busca es que por medio del sexado de espermatozoides el cual permite que la selección de los animales sea más eficiente, el intercambio generacional tenga mayor control, se tenga mayor aprovechamiento de las bondades genéticas tanto del macho como de la hembra y se pueda tener mayor control sobre los reproductores y crías potenciales que se obtengan con la ayuda de esta biotecnología y con la ayuda de otras tecnologías, como la inducción artificial al celo, la IA y la transferencia de embriones.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

JUSTIFICACIÓN

Los ovinos son pequeños rumiantes con la capacidad de aprovechar y transformar forrajes de baja calidad como paja de cereales, residuos o subproductos de cosechas que, de otro modo, serían desperdiciados con otras especies. Además, pueden criarse en diversos climas, siempre que se seleccione la raza adecuada para la zona específica. Estos animales proporcionan distintos productos para el consumo humano, con alto contenido de proteínas y minerales esenciales para el cuerpo. Entre estos productos se encuentran la carne, la lana, el estiércol y la leche (FAO, 2023).

Uno de los principales desafíos en la producción ovina son los problemas reproductivos y la selección adecuada de reemplazos, hembras y machos con alto potencial genético. Para abordar estos desafíos, se plantea el uso del sexado de espermatozoides como una biotecnología que permite seleccionar animales genéticamente superiores y aprovechar otras técnicas como la inseminación artificial (IA) y la transferencia de embriones (TE). De esta manera, se busca mejorar los sistemas productivos ovinos y optimizar características zootécnicas de gran importancia (González et al, 2021b).

Esta técnica consiste en marcar con un tipo de ADN fluorescente, donde por medio de un corriente hidrodinámica y por medio de un rayo láser estas son seleccionadas y separadas en X e Y, esto debido principalmente a su tamaño y peso molecular que tiene cada uno de estos, una de las ventajas de esta técnica es que permite obtener mayor cantidad de crías de forma seleccionada ya sea mayor cantidad de hembras para ser seleccionadas como reemplazo para el aseguramiento de crías a futuro o el nacimiento de crías machos, para la producción de alimentos para la población humana, esto se da por medio de la selección adecuada del macho y el correcto cruce con una hembra que tenga un alto potencial, con el fin de generar animales que sean genéticamente superiores, sin embargo, en la actualidad da cuenta con



SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

otras formas de sexaje como el uso de gradientes de densidad en flujos seminales convencionales, de este modo, según su densidad, también es posible lograr el sexaje, usando una inversión tecnológica y económica menor, consecuentemente, la presente investigación pretende hacer una descripción de las diferentes técnicas de sexaje espermático en ovinos y determinar su impacto zootécnico en las producciones ovinas, como aporte a la eficiencia y rentabilidad de la empresa ovina.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial biotecnológico que tiene el uso del sexaje espermático y su impacto zootécnico en producciones ovinos, mediante revisión literaria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar fisiológica y biotecnológicamente los diferentes mecanismos biotecnológicos de sexaje de espermatozoides en ovinos, partiendo de diferentes postulaciones literarias.
2. Relacionar el efecto del semen sexado en producciones ovinas sobre los principales indicadores reproductivos y productivos, partiendo de evidencias científicas reportadas a nivel local y global.
3. Analizar literariamente la relación existente entre el sexaje espermático en ovinos con las condiciones sociales y económicas del sector productivo.

ESTADO DEL ARTE

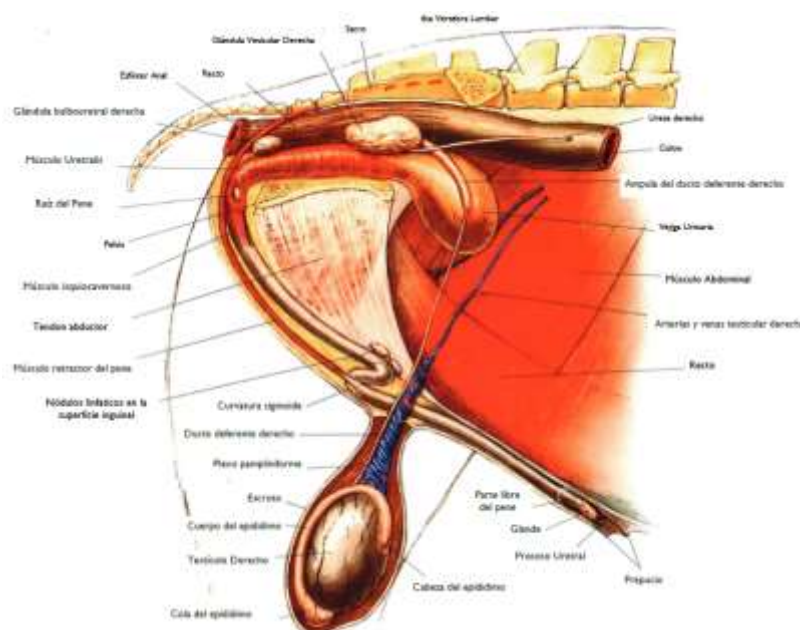
1. Generalidades del Sistema Reproductivo del Macho Ovino

Para su uso en biotecnologías, el macho ovino debe cumplir con ciertas características y aptitudes. Entre estas se encuentran las condiciones físicas, fisiológicas, morfológicas y sanitarias. Es fundamental realizar una revisión previa exhaustiva del animal para evaluar estas características y garantizar la máxima aptitud reproductiva (Vigil, 2015). Además, un manejo adecuado es esencial para optimizar los parámetros reproductivos del rebaño. Para ello, es necesario conocer las generalidades del macho ovino, como:

1.1. Aparato Reproductor del Macho Ovino

El sistema reproductor del macho ovino está compuesto por un conjunto de órganos que trabajan en conjunto para producir espermatozoides y permitir la recolección de semen para su uso en biotecnologías reproductivas y la preñez de las hembras ovinas (Vigil, 2015). Estos órganos, que se observan en la Ilustración 1, incluyen:

Ilustración 1. Sistema reproductor del macho Ovino. (Adaptado de McCracken, et al. 2006)



SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

1.1.1. Testículos

Los testículos, también conocidos como gónadas masculinas, cumplen una doble función exocrina y endocrina. Son los responsables de la producción de espermatozoides y la secreción de hormonas sexuales masculinas (andrógenos). Estas hormonas, principalmente la testosterona, juegan un papel crucial en la espermatogénesis, el desarrollo de las características sexuales secundarias masculinas y el comportamiento sexual del macho, incluyendo el libido (González, 2021a).

1.1.2. Epidídimo

El epidídimo es una estructura tubular en forma de coma que se encuentra adherida al borde posterior de cada testículo en el macho ovino. Se divide en tres segmentos principales: la cabeza, el cuerpo y la cola, y puede alcanzar una longitud de hasta 50 metros. El epidídimo desempeña diversas funciones cruciales en el sistema reproductor del macho ovino, el transporte espermático donde los espermatozoides inmaduros que están recién producidos en los túbulos seminíferos pasan al epidídimo y se transportan hacia los conductos deferentes, este proceso se puede tarar hasta 14 días, maduración espermática, en donde el espermatozoide sufre cambios que lo preparan para la motilidad y capacitación para la fertilización y permite la supervivencia y almacenamiento espermático en donde se pueden llegar a almacenar de $100 - 200 \times 10^9$ representando cerca del 70% de contenido total (Vigil, 2015).

1.1.3. Escroto

Se encuentra formada por diversas capas, principalmente piel, una capa fibromuscular y fascias las cuales concordarían con las capas de la pared abdominal, alberga los testículos, el

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

epidídimo y la parte inferior del cordón espermático, en donde los protege y los mantiene a una temperatura adecuada preparándolos para la espermatogénesis cumpliendo su papel principal que es la termorregulación, es importante destacar que cuando existen alteraciones a nivel del escroto afecta de forma negativa la espermatogénesis y la fertilidad del macho ovino, el escroto puede ser pigmentado o tener tamaño o forma diferente dependiente la raza de las ovejas (Gonzales, 2021a).

1.1.4. Glándulas anexas

Las glándulas anexas del aparato reproductor masculino en el ovino son un conjunto de órganos que se encuentran junto a los testículos y conductos deferentes, y desempeñan funciones cruciales en la producción y transporte del semen, principalmente de excretar secreciones hacia la uretra, estas secreciones son ricas en nutrientes como fructosa, proteínas y enzimas, para que cuando exista la eyaculación se mezcle con los espermatozoides y posean el medio adecuado para la supervivencia, activación y motilidad del espermatozoides (Vigil, 2015).

1.1.5. Glándulas ampollares

Las vesículas seminales en el macho ovino son dos glándulas saculares de paredes gruesas y ricas en glándulas tubulares, ubicadas detrás de la vejiga urinaria. Estas glándulas forman parte de las glándulas anexas del aparato reproductor masculino y desempeñan un papel crucial en la producción y transporte del semen, pueden llegar a tener una longitud de 7 a 9 cm y un ancho de hasta 0,6 cm y sus paredes cuentan con la características de ser ricas en glándulas tubulares, pasan por el cuerpo de la próstata y terminan en la uretra (Vigil, 2015)

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

son glándulas exocrinas que ayudan a la formación del semen, tienen la capacidad de neutralizar la acidez vaginal y reducir el pH del semen, lo cual permite que se tenga un ambiente favorable para la supervivencia, motilidad y fertilización del espermatozoide, el control de estas glándulas se encuentra directamente controlado por la testosterona y hormonas producidas en los testículos (Polat *et al*, 2020).

1.1.6. Glándulas vesiculares

Las glándulas vesiculares en el macho ovino son dos glándulas saculares de paredes gruesas y rugosas, con conductos ramificados de luz estrecha. Estas glándulas producen un líquido viscoso y opaco de color amarillento, rico en fructosa, proteínas, sales minerales (incluyendo potasio) y ácido cítrico. Este líquido seminal representa aproximadamente el 60% del volumen total del semen y desempeña un papel crucial en la reproducción ya que contribuye para que se tenga un medio adecuado para la supervivencia, la activación y la motilidad de los espermatozoides (Vigil, 2015).

1.1.7. Próstata

Su estructura es tubular ramificada, su contribución en el eyaculado suele ser pequeño aportando principalmente sales y enzimas y tiene la capacidad de producir una enzima que es denominada antiaglutinina cefálica que previene la aglutinación de los espermatozoides y adicional a esto tiene actividad tipo buffer al excretar una sustancia alcalina que representa cerca del 20 a 30 % del volumen del eyaculado y tiene la capacidad de aumentar el pH del eyaculado, también protege la uretra e influye en la motilidad que tienen los espermatozoides (Vigil, 2015).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

1.1.8. Glándulas bulbo uretrales o de Cowper

Poseen una forma de avellana de un tamaño pequeño, son glándulas de tipo exocrino ya que producen un líquido viscoso de pH alcalino que permite mantener la uretra limpia y permite neutralizar la acidez vaginal permitiendo que se tenga un ambiente óptimo para la fecundación y este representa cerca del 1 al 2 % del volumen total del eyaculado (Vigil, 2015).

1.1.9. Pene

El pene, también conocido como órgano copulador, es un órgano muscular de forma tubular que juega un papel fundamental en la reproducción del macho ovino. Se encuentra ubicado en la región perineal, debajo del tronco del animal y entre los muslos. Cuando está en reposo, el pene se encuentra oculto en una bolsa de piel llamada prepucio. La longitud del pene en el ovino puede alcanzar los 40 cm y se divide en tres partes principales: raíz unida a la pelvis, el cuerpo es el que rodea la uretra y el glande es la parte terminal del pene el cual posee forma cónica (Vigil, 2015).

1.2. Espermatogénesis

La espermatogénesis consiste en un proceso por el cual las espermatogonias se convierten en los espermatozoides, las espermatogonias son células que tienen una apariencia semiesférica, que poseen una cara plana que se encuentra en contacto con la membrana basal y una cara que se encuentra en contacto con las células de Sertoli y las cuales están ubicadas en el compartimiento basal del túbulo seminífero y este proceso se compone de tres partes, en los ovinos este proceso dura alrededor de 65 días (Vigil, 2015).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

1.2.1. Espermatocitogénesis

Este es un proceso que cumple dos partes fundamentales, la primera se encarga de la división mitótica de espermatogonias tipo A, teniendo la capacidad de producir espermatogonias que no entran al ciclo del espermatozoide con el fin de mantener la población de células indiferenciadas, la segunda función es la transformación de las espermatogonias tipo A a tipo B las cuales se van a unir por medio de la mitosis para poder producir espermatocitos primarios, estos poseen un contenido genético diploide (46 cromosomas), en donde sufrirán un proceso de meiosis final para poder producir los espermatozoides (Vigil, 2015).

1.2.2. Meiosis

Este proceso consiste en una división en la cual se da una reducción del material genético en la cual a partir de dos divisiones celulares de forma sucesiva sin existir una replicación del material genético, los espermatocitos que llegan del proceso anterior se pueden denominar primarios o secundarios de acuerdo a la división en la que se encuentren en la primera o segunda división respectivamente, las diferencias que existen entre los espermatocitos primarios y las espermatogonias tipo B, radica principalmente en su tamaño y el contenido de heterocromática, de la misma forma las diferencias entre los espermatocitos primarios y secundarios está en su tamaño, al final de este proceso se obtienen células haploides, conocidas como las espermátidas redondas (Vigil, 2015).

1.2.3. Espermiogénesis

En este proceso las espermátidas se transforman en espermatozoides, en este proceso no existe multiplicación y el número de espermatozoides que se puede tener depende de la cantidad de espermátidas que sean viables, estas se encuentran situadas más cerca de la luz

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

del túbulo seminífero y de acuerdo a la etapa donde se encuentren se pueden denominar en espermatidas redondas, maduras, alargadas y maduras, en este proceso de diferenciación celular es capaz de desarrollar un flagelo el cual se forma a partir del centriolo, allí se forma el acrosoma por medio del complejo de Golgi, condensa la cromatina nuclear en donde cambia la forma del núcleo, disminuye su volumen y pierde el citoplasma, el cual es fagocitado por la célula de Sertoli, la liberación del espermatozoides hacia la luz del túbulo seminífero se denomina esperminación (Vigil, 2015).

Existen otras células, las cuales son encargadas de la producción de otras hormonas, como es el caso de la célula de Leydig, la cual su principal función es la producción de testosterona, la producción de esta hormona está regulada por la LH la cual provoca un aumento de la testosteronemia, esta tiene la capacidad a su vez de inhibir la secreción de LH provocado por un sistema de retroalimentación negativa, las altas concentraciones de testosterona en los túbulos seminíferos son vitales para un desarrollo normal de la espermatogénesis, además de tener vital importancia en la libido, la actividad de algunas glándulas anexas y permite tener algunas características sexuales secundarias (Vigil, 2015).

Las células de Sertoli están presentes en los túbulos y se encuentran reguladas por la FSH y la testosterona, existen algunas evidencias de que la FSH tiene la capacidad de estimular a la célula de Sertoli a aromatizar a la testosterona y producir estrógenos, adicional a esto la FSH, estimula la producción de una Proteína Fijadora de Andrógenos (**ABP**) que es secretada en los espacios intercelulares del epitelio seminífero y en la luz de los túbulos seminíferos. Adicional a esto la célula de Sertoli tiene la capacidad de producir inhibina que tiene efecto supresor de la secreción de FSH actuando directamente en la hipófisis (Vigil, 2015).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

La LH es necesaria para que exista la espermatogénesis, la FSH es necesaria para iniciar el proceso durante la pubertad, luego no es necesaria a menos de que por algún proceso fisiológico o patológico se detenga es necesaria nuevamente para iniciar el proceso (Vigil, 2015).

1.2.4. Control Hormonal de la Espermatogénesis

Un regulador de la actividad reproductiva es el hipotálamo el cual es el encargado de la síntesis de GnRH, la cual es liberada a los vasos porta hipofisarios de forma pulsátil, donde llega a la hipófisis para estimar la secreción de las hormonas gonadotrofinas Luteinizante **LH** y Folículo Estimulante **FSH**, la liberación de LH es dependiente de los pulsos de la GnRH, mientras que la FSH se encuentra regulada por la secreción basal o constitutiva y el componente pulsátil, luego de cada pulso de GnRH aparece un pulso de FSH y de vez en cuando existen pulsos que no proceden de ningún pulso de GnRH (Vigil, 2015).

1.3. Obtención del Semen Ovino

La calidad del semen que se obtiene a través de un eyaculado dependerá principalmente de la capacidad que se tenga para elegir el semental y de la capacidad que se tiene para obtener y procesar una muestra de semen, de esta forma se cuenta con distintos métodos de colección de semen, entre ellos podemos encontrar la colección de semen por medio de una Vagina Artificial (VA) en la cual se debe tratar de simular las condiciones de temperatura, consistencia y presión de la vagina de la hembra, se puede realizar también la colección del semen por medio del electro eyaculador, en donde lo que se realiza es realizar descargas eléctricas a las glándulas accesorias sexuales, vía rectal, y de esta forma se puede obtener un eyaculado, otra alternativa es la colección directamente de la vagina de la hembra, esta es una técnica la cual

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

puede llegar a presentar dificultades sanitarias si la hembra tiene algún tipo de enfermedad (González et al, 2021a).

Una vez se obtiene el semen, se deben realizar pruebas de evaluación la cual consiste en estimar ciertas características que debe tener el semen como: color, volumen, movilidad y motilidad, proporción de espermatozoides vivos y muertos y el porcentaje de espermatozoides que se tiene con anomalías (González et al, 2021a).

2. Generalidades del Sistema Reproductivo de la Hembra Ovina

El sistema reproductor de la hembra ovina, es de vital importancia ya que este permite la formación de células reproductoras, la formación del embrión o feto y la posterior expulsión de un animal ya formado, el aparato reproductor de la hembra ovina consta de ovarios, oviductos, útero, cérvix, vagina y vulva.

2.1. Ovarios

Estos se encuentran situados en la cavidad abdominal suspendidos del útero gracias al ligamento ancho, tienen funciones endocrinas y exocrinas (liberación de hormonas sexuales y ovocitos), posee una zona externa, la corteza y una zona interna la medula, adicional a esto posee forma de almendra, allí se da la ovulación por medio de procesos hormonales y de crecimiento de folículos que de acuerdo a su etapa de crecimiento se van agrupando, creciendo y/o atrofiando, cuando se produce la ovulación, es un proceso en el cual el ovulo es expulsado del ovario, dando el momento adecuado para la fecundación y desarrollo posterior, el periodo necesario para que exista la ovulación desde el crecimiento folicular varía de 12 a 34 días (Gonzales, 2021a).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

2.2. Oviductos

El oviducto tiene divisiones la fimbria y el infundíbulo estas son la abertura abdominal en forma de canal, la dilatación que se da de forma más distal se llama ámpula y el istmo es la porción más angosta proximal del oviducto que conecta con el endometrio uterino, la función principal que tiene el oviducto es dar la unión entre el ovulo y los espermatozoides y los movimientos que permiten que se realicen esta unión es regulada por hormonas como los Estrógenos (E2) y la Progesterona (P4) (Gonzales, 2021a).

2.3. Útero

El útero en la oveja tiene la característica de ser bipartido, adicional a esto esta formado por dos cuernos, un cuerpo y el cérvix, tienes tres capas, una capa interna denominada endometrio, una capa media denominada miometrio y una capa externa serosa, en el miometrio tiene funciones durante la gestación, mientras en el endometrio tiene especial atención para recibir el ovulo fecundado, nutrirlo desarrollarlo y permitir el contacto que tendrá con la placenta, el útero es de vital importancia en la reproducción ya que permite el transporte del espermatozoide, tiene funciones en la regulación del cuerpo lúteo y la implantación, la preñez y parto (Gonzales, 2021a).

2.4. Cérvix

Este tiene forma de bordes trasversales y alternados que son llamados anillos, durante el estro estos tienen la capacidad de relajarse y permite que el espermatozoide penetre el útero y este permite que el paso del espermatozoide sea más fácil con las secreciones de moco cervical el cual actúa como reservorio de espermatozoides e interviene en la selección de espermatozoides viables (Gonzales, 2021a).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

2.5. Vagina

La vagina es el órgano copulatorio en el cual se deposita el semen hasta que estos son transportados por medio de las contracciones y ayudado por el moco cervical, sirve de conducto excretor de secreciones del cuello, endometrio y oviducto y adicional a esto sirve de la salida del feto durante el parto (Gonzales, 2021a).

2.6. Vulva

Este es el homologo embriológicamente del pene, durante el estro por medio de las producciones de E2 los labios bulbares se inflaman, congestionan y se genera una edematización y se genera un moco lubricante gracias a las glándulas de Bartholin que facilitan el momento de la copula (Gonzales, 2021a).

2.7. Parámetros Reproductivos del Macho y de la Hembra Ovina

En cualquier sistema productivo es necesario reconocer los parámetros reproductivos de la especie con el fin de evaluar la eficiencia y la productividad que se tiene en la producción, por esta razón es importante conocer ciertos parámetros en la producción ovina (Lozano, 2014).

Tabla 1. Parámetros reproductivos en el macho y la hembra Ovina (Adaptado de Lozano 2014).

| Parámetro | Machos | Hembras |
|--------------------|------------------|---------------------------------|
| Pubertad | 6 a 9 meses | |
| Ciclo estral | - | 17 días |
| Estro | - | 26 a 36 horas |
| Ovulación | - | Final del estro |
| Primer servicio | 40 - 60 % del PV | |
| Gestación | - | 150 días |
| Involución Uterina | - | 20 a 30 días |
| DA | - | 68 días |
| IEP | - | 240 días Carne 365 días Pelo |

DA: Días Abiertos; IEP: Intervalo Entre Partos

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

3. Sexado de Semen Ovino

Los primeros reportes sobre el uso de semen sexado en animales datan del año 1989, cuando el Dr. Larry Johnson logró reproducir conejos con espermatozoides clasificados por citometría de flujo (González et al., 2021b). Las investigaciones en esta área se remontan a la década de 1970, buscando un método confiable para direccionar el sexo de la descendencia, el verdadero avance llegó con el desarrollo de una sonda in situ que emitía señales fluorescentes, permitiendo la separación de espermatozoides sin afectar su integridad y dando lugar al nacimiento de animales vivos sexados, el colorante utilizado, que aún se emplea en la actualidad, penetra fácilmente las membranas celulares, se une de forma selectiva al ADN y distingue entre los espermatozoides X e Y, sin alterar la función espermática ni presentar toxicidad (Vishwanath y Moreno, 2018).

Esta técnica se basa en la citometría de flujo cuantitativa, donde los espermatozoides se marcan con un tipo de ADN fluorescente llamado Hoeschst 33342, este colorante se difunde a través de la membrana celular intacta y se une de forma selectiva a los pares de bases nitrogenadas A/T, los espectros de absorción y precisión del H33342 son de aproximadamente 350/460 nm luego, los espermatozoides se alinean hidrodinámicamente en una corriente de gotas discontinuas y se excitan con un rayo láser ultravioleta (UV) cada gota se carga según el contenido de ADN, y la presencia de estas cargas en el punto de descarga permite separar las dos poblaciones de espermatozoides para su recolección (Vishwanath y Moreno, 2018).

De esta manera, se obtienen espermatozoides X (hembras) e Y (machos), que se separan mediante un campo electrostático de acuerdo a su carga. La precisión de esta técnica de sexaje se encuentra alrededor del 85% al 90% (Gupta et al., 2018), En el esperma ovino, se ha

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

identificado una diferencia en el tamaño promedio de 4,1% entre los espermatozoides X e Y. Esta diferencia de tamaño permite una mayor eficiencia en la separación, recuperando una mayor cantidad de espermatozoides del sexo deseado (González et al., 2021), se han realizado diversas mejoras en la tecnología de sexaje espermático, incluyendo la introducción de boquillas de orientación, procesamiento digital, clasificadores de cabezales múltiples y la automatización del proceso, esta tecnología, conocida como "Genesis", permite que la calidad y las tasas de concepción del espermatozoide sexado sean similares a las del semen convencional (De Graaf et al., 2014).

4. Técnicas Usadas en el Sexaje de Espermatozoides

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversas técnicas y métodos para obtener semen sexado sin alterar la estructura del espermatozoide ni su capacidad fecundante. Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:

4.1. Clasificación de Células Activadas por Fluorescencia (FACS)

Durante los últimos 40 años se han realizados diversos esfuerzos y estudios con el fin de desarrollar una tecnología que permita la separación de los espermatozoides X e Y, la tecnología que se ha encontrado se basa en el uso del contenido exclusivo de ADN de los espermatozoides, en los cuales se ha logrado identificar que los espermatozoides X contiene más cantidad de ADN cerca de un 3,4% con respecto a los espermatozoides Y por lo tanto se determinó que estas pueden ser marcadas por medio de la clasificación de células activadas por fluorescencia (FACS), aunque esta técnica era defectuosa ya que era un procedimiento lento, costoso y provocaba daños subletales en las células donde se incluían los

espermatozoides de las ovejas, con el paso de los años esta técnica se ha ido mejorando obteniendo resultados positivos en la aplicación en ovinos (Kumar et al, 2020).

Es una técnica que tiene distintas aplicaciones en ovinos ya que permite producir mayor cantidad de hembras, las cuales son ideales para la reposición del rebaño, no obstante permite disminuir la cantidad de machos, reduciendo al necesidad de castrar, teniendo mayor control del rebaño y siendo beneficioso para sistemas encargados de la producción de carne, por otra parte permite tener claridad sobre la calidad del semen, ya que permite la evaluación de la viabilidad, motilidad y morfología de los espermatozoides de forma individual, información que permite seleccionar los espermatozoides más aptos para la IA, mejorando las tasas de fecundación y el desarrollo embrionario (Bhat *et al*, 2015).

Esta es una técnica que tiene algunas ventajas dentro de su aplicación en los ovinos su alta precisión y especificidad permite que los espermatozoides sean separados con gran precisión, además de tener un análisis multiparametrico, analizando distintas características de cada espermatozoide de forma simultánea, tiene la capacidad de procesar grandes cantidades de semen en un periodo corto de tiempo y la cantidad de marcadores fluorescentes que pueden ser usados permite analizar distintas características de los espermatozoides (Bhat *et al*, 2015).

Bhat et al (2015), indica que con la utilización de la FACS en ovinos, permite la separación de los espermatozoides X e Y con una precisión de hasta el 90% lo que indica que puede superar los métodos tradicionales como la electroeyaculación o la centrifugación por gradientes de densidad, adicional indica que tiene un efecto positiva en la tasa de partos, donde se permitió aumentar la tasa de partos en un 10-15% en comparación al uso del semen convencional.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

4.2. Método Inmunológico de Sexado de Semen

La base de este método empezó cuando se dijo que los espermatozoides X e Y poseen distintas carga en su contenido de ADN lo que induce a que existen diferencias en las proteínas, se indica que los espermatozoides bovinos portadores de X e Y difieren en la expresión de al menos 31 genes, en donde los espermatozoides X, 27 se encontraban regulados positivamente, mientras que para los espermatozoides Y solamente 4, lo que conduce a que se tengan variaciones fenotípicas en los espermatozoides X e Y adicional, esto permite que se expresen proteínas en las superficie del esperma y se puedan aislar o identificar dichos marcadores lo que permite emplear anticuerpos contra un marcador en específico junto con métodos inmunológicos como: el etiquetado inmunofluorescente, la inmunoprecipitación y los enfoques de inmunotoxicidad que permiten separar los espermatozoides X e Y (Kumar et al, 2020).

Por otra parte Scott et al (2018) indica que al momento en que se identifica la proteína específica en la membrana plasmática de los espermatozoides X e Y, por medio del desarrollo de uno o más anticuerpos específicos para X o Y fue posible crear el método inmunológico de sexaje de espermatozoides, dentro de las ventajas que posee esta técnica dentro de ellas se destaca como una técnica de bajo costo y menos invasiva para los espermatozoides, gracias a diversos estudios se logró identificar que la expresión de 14 proteínas diferentes entre X e Y afectan la energía, el metabolismo, la resistencia y la composición del citoesqueleto en el espermatozoide, lo que permite que el sexaje de espermatozoide por medio de esta técnica sea viable.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

Así mismo se han desarrollado proteínas específicas para determinar el sexo, una de ellas es la Sex Specific Protein (SSP) que junto al desarrollo de la técnica del sexado inmunológico permitió que por medio de la incubación de espermatozoides bovinos que tenían anticuerpos específicos para los espermatozoides X los cuales previamente habían sido identificados, aislados y purificados y después de la incubación dio como resultado que el 50% de ellos se aglutinaran, del 50% restante se logró identificar que el 92% de ellos producían embriones masculinos in vitro el cual fue confirmado por medio de sexado citogenética, para tener mayor efectividad en esta técnica es necesario que se realicen más estudios que permitan buscar técnicas de identificación de proteínas más sensibles para poder producir un anticuerpo para los espermatozoides X e Y (Scott *et al*, 2018).

4.3. Sexado en un Citómetro de Flujo

Este es uno de los métodos más usados y reconocidos en la actualidad, se basa principalmente en la diferencia entre el contenido de ADN de los espermatozoides que portan los cromosomas X e Y, por lo cual entre mayor sea la diferencia entre el contenido de ADN se tiene mayor facilidad para identificar y separar las poblaciones de espermatozoides. Esta es una técnica de referencia y de difusión de forma comercial, esta técnica se basa en la tinción diferencial de los espermatozoides, la emisión de rayos laser UV y las fuerzas hidrodinámicas que dirigen los gametos durante la separación, una de las desventajas de este método es su alto costo y su difícil portabilidad, requiriendo equipos costosos y mano de obra calificada, además de ser un proceso lento y con una baja dosis de concentración, también tiene la capacidad de provocar daños irreversibles en los gametos masculinos en su ADN disminuyendo la fertilidad y la producción de embriones viables, los daños se asocian a los diversos procesos por los cuales tiene que ser sometidos los espermatozoides durante la

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

separación, así mismo el uso de colorantes, las diluciones, incubaciones por periodos largos, la exposición a altas presiones, los laser UV y la centrifugación del semen después del sexado (Da Silva y Guerra, 2019).

Teniendo en cuenta las diferencias que existe entre el contenido del ADN de las células X e Y puede variar de un 3 a 4% entre especies, cuando el citómetro de flujo se encuentra bien calibrado, este puede llegar a separar las células con una pureza del 90% (Scott *et al*, 2018) teniendo en cuenta que existen otros factores que facilitan la diferenciación de los espermatozoides entre las especies Garner (2006) indica que la orientación de los gametos al momento de ser clasificados por el citómetro influye en la capacidad de separación ya que los espermatozoides que poseen cabeza más plana y ovalada suelen ser más aerodinámicos que los de cabeza redondeada y angulosa.

Para la separación por medio de esta técnica es necesario el uso de la sonda Hoechst 33342, la cual es la encargada de penetrar en el espermatozoide intacto y se une al ADN, debido a que los espermatozoides X tiene mayor ADN con respecto a los espermatozoides Y, tienen mayor capacidad de ser marcados, por lo tanto cuando son excitados por el láser tienen la capacidad de emitir mayor fluorescencia que los espermatozoides Y, esta diferencia es detectada por medio de filtros fotomultiplicadores y es analizada por computadora, los que tienen el cromosoma X, reciben una carga positiva, mientras que los que tienen cromosoma Y reciben una carga negativa, aquellos que son indistinguibles no reciben ningún tipo de carga, así se forma tres flujos por medio de una gota, donde pasan por medio de un campo eléctrico, donde los espermatozoides son atraídos los X por cargas negativas, los Y por cargas positivas y los que no poseen ningún tipo de carga siguen sin ser atraídos (Scott *et al*, 2018).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

Es necesario de 1,3 horas para separar suficiente cantidad de semen para poder procesar una pajilla de 20 millones de espermatozoides, gracias a esto la comercializadora solo genera pajillas de 2 mil millones de espermatozoides, lo que produce que estas sean usada de forma específica con rebaños bien manejados y animales que posean alta tasa de fertilidad para así mismo mejorar las tasas de concepción (Scott *et al*, 2018).

4.4. Sexado por Centrifugación en Gradiente de Densidad Percoll

Dado que el sexado por citómetro de flujo permite la separación de los espermatozoides X e Y con casi un 90% de pureza es un método que es tiene bastante trabajo y adicional a esto es costoso y tiende a alterar la función de los gametos, es por esto que nace el sexado de espermatozoides por medio de gradientes, un método alternativo el cual permite la separación de los espermatozoides X e Y por medio de los gradientes Percoll, los cuales están compuestos por partículas de sílice coloidal, recubiertas con polivinilpirrolidona el cual es utilizado para la preparación de soluciones isotónicas con distintas densidades, estos gradientes pueden ser discontinuos o continuos, estando formados por capas con densidades predeterminadas y evidentes o con un aumentos gradual y suave de la densidad desde la porción superior hacia la inferior respectivamente (Resende, et al, 2011).

Para el sexado por medio de gradiente discontinuo o continuo es necesario depositar el semen sobre el gradiente y este es sometido a una centrifugación en un rotor horizontal, después los espermatozoides que portan el cromosoma X tienden a bajar en el fondo del gradiente mientras que los que portan el cromosoma Y se dispersan a lo largo del gradiente, esto se da gracias a que las células X contienen mayor cantidad de ADN y nucleoproteínas que las células Y, es

decir, poseen mayor densidad, debido a que el ADN es el responsable del 18% de la masa celular (Da Silva y Guerra, 2019).

Una de las ventajas que tiene el uso del gradiente de Percoll es que tiene la capacidad de seleccionar los espermatozoides en términos de viabilidad y calidad, en la fracción más densa del gradiente se retiene gametos de mayor calidad y con desviación al cromosoma X, mientras que en la parte superior se tiene a retener impurezas como células inmaduras, anormales e inmóviles, por lo tanto la tasa de recuperación puede estar influenciada por la calidad de la muestra de semen inicial (Da Silva y Guerra, 2019).

4.5. Nano Partículas

Esta técnica es también conocida como la clasificación de células activadas magnéticamente (MACS), es una tecnología que ha sido usada recientemente en la reproducción asistida, ya que permite separar los espermatozoides móviles, viables y morfológicamente normales adicional a esto tienen la característica de presentar una importante tolerancia al momento de criopreservar ya que tienen mayor potencial de fertilización (Castex y Losinho, 2018).

Las nano partículas magnéticas (NPM) se añaden a un medio diluyente y estas se unen al espermatozoide Y, que luego es atraído por medio de imanes, mientras que los espermatozoides X permanecen en el medio, las nano partículas tienen un tamaño de 50 nm y están se encuentran compuestas por un núcleo de hierro magnético que está recubierto de sílice y está cargado de forma negativa, la muestra de semen se expone a los imanes durante 20 minutos, de esta forma el complejo de espermatozoides Y-NPM queda fijado a la pared del tubo mientras que los portadores del cromosoma X permanecen suspendidos en el medio

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

(Domínguez, et al, 2018), el potencial eléctrico que se produce en esta técnica entre la membrana plasmática del espermatozoide y el medio circulante, el cual tiene carga negativa para el espermatozoide X es de -20mV , mientras que para el espermatozoide Y es de -16mV , dado esto los NPM tienen mayor afinidad a los espermatozoide Y, por esta razón son capaces de unirse a ellos, esta es una técnica que es de fácil manejo, no requiere de grandes tecnologías ni de equipos costosos el material es de fácil desplazamiento y se puede usar en campo (Cabral, et al, 2023).

5. Beneficios Potenciales del Uso del Semen Sexado

Dada las distintas tecnologías que se usan actualmente para obtener animales que tengan mayor potencial productivo, se busca que éstos tengan algún tipo de beneficio o ventaja sobre las tecnologías o métodos tradicionales que se usan, es por esta razón que se debe hablar del sexado del semen con respecto a las mejoras que se pueden obtener bajo los siguientes aspectos:

5.1. Mejoramiento Genético

Entre los beneficios que se pueden obtener con el uso de semen sexado es el mejoramiento genético, bajo diversos aspectos, en los cuales podemos encontrar la reducción de enfermedades que se encuentran ligadas específicamente al sexo, además la obtención y conservación de animales que sean genéticamente superiores y raros (Gupta et al, 2018), adicional a esto también permite tener mayor dirección sobre el rebaño según su objetivo productivo, adicional a esto la maximización de la ganancia genética que se traducen en productividad y rentabilidad para los sistemas productivos (Da Silva y Guerra, 2019), adicional a esto también permite tener una ventaja sobre los animales que son usados en la industria

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

láctea en la cual es necesario la selección y el nacimiento de hembras, lo que permite tener mayor cantidad de leche sin aumentar el tamaño del rebaño y aprovechando los animales disponibles y disminuyendo el desgaste que se puede generar en las hembras, caso contrario para el caso de la industria cárnica donde lo que se busca es tener mayor cantidad de machos para la producción de carne y su rendimiento está basado en la canal, es importante destacar que esta técnica permite elegir los mejores animales genéticamente hablando, que tengan un mayor potencial zootécnico y que las características que expresan sean las deseables para el objetivo de la producción (Cabral et al, 2023).

Adicional a esto está permite tener una precisión de hasta el 90% de la selección del sexo de la cría, lo cual permite que se puedan producir mayor cantidad de hembras o machos de acuerdo al tipo de producción que se tenga, reduciendo la necesidad de la castración de los animales, mejorando el manejo de los rebaños y permitiendo que los sistemas de producción sean mas beneficiosos y rentables (Filipiak *et al*, 2017).

5.2. Producción de Embriones (PE) con Semen Sexado

Dentro de las tecnologías que pueden ser usadas con el sexado de espermatozoides, se encuentra una biotecnología que a lo largo del tiempo ha sido utilizada y mejorada con el fin de mejorar y reducir el tiempo generacional en los mamíferos, teniendo aprovechamiento para producir mayor cantidad de crías de una hembra de alta producción y de un macho que posea un alto valor genético (Luo et al, 2019) y que permite una mejora a un ritmo más rápido con el fin de mejorar en el proceso de la contribución genética (Kumar et al, 2020).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

La producción de embriones se da a partir de una madre (donadora) y de la transferencia a una madre (receptora), esta es una técnica que requiere que la hembra sea superovulada de forma hormonal y en el momento adecuado dar la inseminación artificial ya sea con semen sexado o semen convencional, después de unos días los embriones que son producidos *In vivo* alrededor de los 7 días, se extraen y son transferidos a la hembra receptora teniendo en cuenta que se verifican de forma microscópica para determinar su número y calidad (Gupta et al, 2018).

Dentro de los reportes que se tienen en la utilización de esta tecnología, se da un reporte según Kumar (2020), da un reporte donde se transmitieron 19 embriones de 2 a 16 células (mórula), a 18 ovejas receptoras de las cuales nacieron 8 corderos, el éxito de dicha tecnología varía bajo diversos aspectos en los cuales se evidencia principalmente el manejo que se le brinde a las animales tanto a las donantes como a las receptoras, la reproducción que se lleve a cabo y el tipo de inseminación que se realice.

Existe otra técnica la cual consiste en dar un sexado de los embriones, en la cual se recogen los embriones al día 7 y son lavados con una solución salina tampón, después de esto se realiza la determinación del sexo mediante una sonda de ADN específica para el cromosoma Y junto con la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), los resultados que se obtuvieron para los embriones con células de 2, 4 a 8, mórula y blastocito fue de 73%, 89,77%, 83,33% y 79,6% respectivamente para ovinos (Kumar et al, 2020).

Existen algunas ventajas dentro de la producción de embriones con semen sexado, una de ellas es la selección del sexo descendiente de los animales que son más productivos o son

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

genéticamente superiores, lo cual puede ser útil dentro del rebaño, también permite que se mejore la eficiencia reproductiva ya que a partir de las hembras se obtienen crías con el sexo deseado y de esta misma forma permite que se disminuya el tiempo generacional de los animales superiores obteniendo crías más rápido (Puerto, 2020).

5.2.1. Criopreservación de Embriones

Los primeros reportes que se tienen sobre la criopreservación de embriones en ovinos, se da hacia la década de los 1970, bajo distintos tipos de congelación, principalmente se basan en el tiempo de congelación lenta, donde se debe tener una velocidad y temperatura óptima para el correcto enfriamiento y la criopreservación de los embriones, la velocidad del enfriamiento depende principalmente de la cantidad de agua que se encuentra en la celda y la facilidad con la que este cuenta para poder migrar de ella y la congelación lenta es el método que es usado para la congelación de los embriones que son producidos *In vivo*, en la cual se logra conseguir una criotolerancia embrionaria y tasas de preñez aceptables, caso contrario cuando se producen embriones *in vitro* y se da una congelación lenta la viabilidad de dicho embrión es mala (Luo *et al*, 2019).

Luego de la recolección de los embriones sexados son preparados para la criopreservación los embriones son deshidratados en un medio adecuado, por medio de la deshidratación osmótica, luego son colocados en viales especiales donde son sumergidos en nitrógeno líquido, allí son almacenados en tanques de nitrógeno a temperaturas ultra bajas de -196°C , durante este proceso pueden existir algunas pérdidas de embriones esto ocurre principalmente durante la congelación y descongelación de los embriones (Izquierdo *et al*, 2015)

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

La criopreservación de embriones posee algunas ventajas zootécnicas una de ellas está reflejada principalmente en el progreso genético que representa usar embriones en la reproducción de animales, ya sea para rebaños especializados en la producción de leche, lana o carne y el aprovechamiento de embriones que en su momento no pudieron ser usados en fresco ya que no se contaba con la suficiente cantidad de receptoras teniendo mayor control sobre la programación del nacimiento de las crías (Izquierdo *et al*, 2015).

5.3. Implicaciones económicas

El uso de tecnologías reproductivas permite que el mercado de semen de distintas especies aumente, así mismo, se tiene que para finales del siglo XXI aumentará la producción mundial de distintas carnes, para el caso de la carne ovino/caprino aumentaría en un 55% y la leche de pequeños rumiantes y bovinos podría alcanzar un alza de hasta el 63%. Adicional a esto se puede ampliar el mercado internacional ya que se pueden obtener animales de distintas partes del mundo por medio de la utilización de embriones congelados viables sexados o no sexados y la utilización, comercialización del semen sexado mejorado los cuales van a permitir un mejor rendimiento dentro de las producciones y potencialización de la producción ovina (Fernandes y Minhoto, 2019).

Puede existir una reducción de los costos ya que se disminuye la necesidad de mano de obra y los recursos que son necesarios para mantener a animales no deseados (machos castrados o hembras improproductivas), se tiene mayor optimización de la producción al enfocarse en crías que posean mayor valor comercial, permitiendo de esta manera ajustar el tamaño y estructura del rebaño según las necesidades que se tenga en el mercado, adicional también se puede dar una reducción al uso de hormonas relacionados a la sincronización de celos y reduce el

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

estrés de los animales evitando la castración y manejo de animales no deseados (Filipiak *et al*, 2017).

5.4. Rentabilidad

Se tienen distintos métodos de obtención de semen sexado, el más usado es la citometría de flujo, la cual es una técnica que es bastante laboriosa y adicional a esto es una técnica que suele ser más costosa (Maia, et al, 2020), existen técnicas como el inmunosexado, la cual es una técnica que tiene un costo menor a la citometría de flujo y tiene un mayor campo de aplicación la cual puede presentar un mejor costo-beneficio para la especie ovina, en la ilustración 2 y 3 se puede observar una comparativa realizada por para el sexaje de semen ovino bajo la técnica de citometría de flujo e inmunosexaje y criopreservación del semen, en la cual se indica que el costo de producción por eyaculado esta alrededor de 2000 dólares que equivale al coste del kit de inmunosexaje, adicional a esto se indica que esta es una técnica que tiene un mayor campo de aplicación y requiere un equipo convencional, también se observó el valor de la dosis de semen en diferentes monedas comerciales. El valor de la dosis inmunosexada puede costar entre 20 y 80 dólares, esto depende principalmente de factores como la concentración del esperma, el número de pajillas que son producidas por eyaculado y la ganancia genética que se puede tener, su valor es similar al valor de una pajilla convencional 3 a 25 dólares, teniendo en cuenta que la selección en cuanto al nacimiento de crías machos o hembras está basada en el tipo de semen que se esté usando (Maia, et al, 2020).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

Ilustración 2. Costo de producción de diluyentes de conservación y técnicas de sexado de espermatozoides.

| Diluentes de conservação/ Equipamentos/Kit de sexagem | Custo de produção por ejaculado (US\$) |
|---|--|
| ACP (50 mL) | 2,06 |
| TRIS - Tris (Hidroximetil) Aminometano, Frutose e Ácido cítrico (50 mL) | 0,48 |
| Citômetro de fluxo | > 411.522,64 |
| Kit Imunossexagem (HY) | 2.000,00 |

Tomado de: Maia, et al, 2020.

Ilustración 3. Comparación de técnicas de sexado/criopreservación de semen de pequeños rumiantes.

| Parâmetro | Convencional | Citometria | Imunossexagem |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Equipamentos | Simple | Específico/Restrito | Simple |
| Técnica | Simple | Laboriosa | Simple |
| Mão de Obra | Tecnificada | Especializada | Tecnificada |
| Categorías de fêmeas inseminadas | Primíparas e múltiparas | Primíparas | Primíparas e múltiparas |
| Valor da dose (dólar) | 3 - 25 | - | 20 - 80 |
| Valor da dose (euro) | 10 - 22 | - | 18 - 73 |
| Valor da dose (real) | 115 - 220 | - | 94 - 380 |

Tomado de: Maia, et al, 2020.

Por otra parte (Cattle, 2018) da un reporte donde indica que el semen sexado presenta un porcentaje de 87,2% de nacimiento de hembras, mientras que con el uso de semen convencional se tiene un nacimiento de hembras de 46,7%, a pesar de que algunos estudios demuestran que el semen sexado tiene menor tasa de concepción. El precio comercial en promedio para una pajilla se semen convencional para bovinos ronda en alrededor de \$10 USD, alrededor de \$42.000 mil pesos colombianos, mientras que uso de semen sexado tiene un costo por pajilla de \$50 USD, alrededor de \$215.000 pesos colombianos. No obstante el costo de una pajilla sexada no es tan alto si se tiene en cuenta el valor que puede llegar a tener una cría hembra recién nacida con respecto a una cría macho recién nacida.

DISCUSIÓN

De Lima y Nociti (2019), dan un reporte sobre el uso de semen convencional y sexado para bovinos, donde ellos logran encontrar que el uso del semen convencional en la inseminación artificial tiene una ventaja sobre el uso del semen sexado, esto debido a que se reporta una reducción del 16% en las tasas de concepción después de la inseminación con dosis de 10 millones de espermatozoides, mientras que para el caso de los ovinos González et al, (2021b) da unos primeros reportes de concepción después del uso de la inseminación artificial por medio de laparoscopia con semen sexado en la cual el porcentaje de hembras con una preñez confirmada para el caso de los cromosomas X fue de 25% mientras que para el caso de los cromosomas Y fue del 14,6%, el cual presentó una reducción con respecto a la inseminación con semen convencional de 54,3%, en pruebas realizadas se determinó que esta disminución en la tasa de concepción del semen sexado estaba asociada a problemas de motilidad total y progresiva que eran reducidas y una capacitación prematura, lo cual explicaba la disminución en la fecundación, así mismo Franchini y Catena (2016) dio a conocer que en un estudio realizado en bovinos se incrementó en el porcentaje de crías hembras pasando de un 50% a un 90%, lo cual permite que se tenga una reducción en el costo de reposición lo que se traduce en rentabilidad para los sistemas productivos, la tasa de concepción con semen sexado oscilan entre 35 a 40%, mientras que con semen convencional se tiene una tasa de concepción del 60%.

Por otra parte en Argentina se calcula que aproximadamente de 1722 inseminaciones con pajillas de semen sexado, se tuvieron 822 preñeces confirmadas, con una efectividad del 51%, mientras que la tasa de efectividad para la determinación del sexo de hembras fue de 90% obteniendo 915/1020 (Pelaez y Betancourt, 2021).

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

Avendaño (2018) da un reporte donde se analiza el semen, se realiza el sexado y se analiza bajo diversos diluyentes se tienen en cuenta diversos parámetros, en donde se tiene una motilidad inicial del 75%, una vez se realiza el proceso del sexado de espermatozoides se da una motilidad inicial del 88%, por otra parte se tiene la vitalidad del semen fresco del 83%, mientras que el semen sexado posee una vitalidad del 90,15%, teniendo mejoras notables en algunos parámetros que son vitales para que se dé una fecundación del ovulo y se produzca una gestación.

De esta misma forma González et al, (2021b) generar reportes, donde asocia el tiempo de la inseminación artificial y mejoras en el proceso de selección y clasificación del semen similares a los trabajados en bovinos y el programa de SexedULTRA, tienen la capacidad de fecundar la hembra ovina, llegando a tener mejores resultados de preñez que la esperada en bovinos y venados, gracias a estos avances se tiene el resultado que el uso de semen convencional en la inseminación artificial del ovejas tuvo un porcentaje de preñez de 69% con 1,6 crías promedio por oveja, mientras el uso de semen sexado en la inseminación artificial tuvo un 65% de preñez con 1,7 crías promedio por hembra, lo cual permite que se tenga gran esperanza sobre este procedimiento y que permita ser más comercial y permita tener mayor comercio a nivel mundial.

En un estudio realizado en conejos, donde se tuvo en cuenta dos técnicas de sexado Swim up y Percoll, se tuvo en cuenta el sexado por Swim up y por medio de gradientes de Percoll, donde la cantidad de animales vivos y la cantidad de machos y hembras para cada caso, arrojando los siguientes resultados, técnica de Swim up con 171 animales nacidos vivos con 62

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

hembras y 109 machos, para el caso de la técnica por medio de Percoll se tuvo 185 animales vivos con 125 hembras y 60 machos, dando como resultado el favorecimiento de un sexo en específico para estas técnicas en la especie cunícola (Copello, 2011).

En equinos se tuvo resultados similares según lo reportados por Ramírez (2016) donde se usó el sexado se semen por medio de nanopartículas dando como resultado la inseminación artificial intracornual profunda de 4 yeguas, donde 3 de ellas obtuvieron una preñez al primer ciclo y la restante en el segundo ciclo, los controles ecográficos a los 125 días demostraron que el sexaje fetal era positivo para hembras revelando la presencia de gónadas femeninas (ovarios).

Para el caso de la producción de embriones producidos *in vivo* con la utilización de semen sexado se logró observar una reducción del 50% en la cantidad de ovocitos fecundados y una reducción del 30% del total de embriones viables con respecto al semen convencional, esto se asocia principalmente al número de espermatozoides por dosis de semen sexado, adicional a esto la tasa de preñez que se presenten después de la transferencia de embriones dependen del aumento del número de espermatozoides por dosis de semen (De Lima y Nociti, 2019).

De la misma forma Bonilla *et al* (2018) tiene un reporte en bovinos de la cantidad de embriones que se puede obtener con semen sexado y semen fresco y adicional a esto la cantidad de preñeces que se pueden obtener, donde se obtuvieron los siguientes resultados, el porcentaje de embriones que se pueden obtener a partir del semen sexado se encuentra en 20,8 % mientras que con el semen en fresco se tiene una producción del 26,5%, en cuanto a la cantidad de preñeces que se logra obtener con el semen sexado es de 44,6% y para el semen

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN
SISTEMAS PRODUCTIVOS.

fresco se tiene una preñez del 46%, así mismo indica que el semen sexado tiene mayor resistencia para soportar los cambios que se pueden presentar en el daño de la membrana espermática.

Seidel (2015) logro realizar comparaciones sobre el efecto que tiene la congelación lenta en embriones que son producidos *in vitro*, donde evaluó la velocidad de enfriamiento y calentamiento usando distintos agentes crioprotectores y determino que la velocidad de enfriamiento lenta le dio el tiempo suficiente al agua para que esta saliera osmóticamente de las células, lo cual permitió que no existiera la formación de cristales de hielo que fueran dañinos. Por otra parte Menchaca *et al* (2018), indica que las diferencias están basadas en el contenido excesivo de lípidos que pueden tener los embriones producidos *in vitro* y algunos cambios en su estructura, la composición física y químicas que posee el embrión, la etapa en la que se encuentre el embrión y protocolos que se lleven a cabo para la obtención del embrión.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

CONCLUSIONES

El uso de semen sexado es una biotecnología que permite que se tengan mayor cantidad de hembras o machos de acuerdo a los objetivos que se tenga en cada una de las unidades productivas, por otra parte, si bien en el proceso de sexaje de los espermatozoides pueden llegar a sufrir algún daño en la membrana espermática y adicional a estos las diversas técnicas que se tienen requieren de mano de obra calificada y de equipos específicos, es una técnica que permite obtener animales de acuerdo a las necesidades de la producción y el beneficio económico respecto a la cría que se logra obtener es mejor con respecto al costo y el uso de dicha biotecnología, así la utilización del semen sexado se espermatozoide en ovinos permite que se tenga 1,7 crías por hembra con una tasa de preñes del 65%.

Las técnicas usadas para el sexaje de espermatozoides se basan principalmente en las diferencias de peso molecular que tienen los espermatozoides X e Y, independientemente del método que sea usado, donde se destacan el marcaje de los espermatozoides, la excitación con rayos UV o la utilización de gradientes.

Se han identificado diversas técnicas de sexado de espermatozoides, donde cada una de ellas cuenta con ventajas y desventajas, lo que se busca es la estandarización de los diversos procesos y el mejoramiento de las técnicas, gracias a que la tecnología avanza se busca que se reduzca la pérdida en la estructura, morfología, capacidad para fecundar el ovulo y la capacidad de generar un embrión o feto con dicho espermatozoide, es importante destacar que existen técnicas que suelen ser más costosas, lentas y provocan mas daños a los espermatozoides como la FACS, caso similar sucede con la citometría de flujo, debido a los equipos tecnificados y la mano de obra calificada para el procesamiento del espermatozoide.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

El mejoramiento genético que se logra obtener con la utilización del semen sexado, se basa en la reducción de enfermedades que se encuentran ligadas al sexo, el aumento de la producción con caracteres que sean deseables y el cruzamiento de animales que sean genéticamente superiores.

El uso de semen sexado con tecnologías como la transferencia de embriones y la criopreservación de los mismos, permite que se reduzca el tiempo generacional de los animales y tener el aprovechamiento de la hembra y el macho que son genéticamente superiores, adicional a esto permite que se tenga un campo más amplio en el mercado, permite que el uso de semen sexado aumente y se potencialice la producción ovina a nivel mundial.

La utilización de semen sexado y las tecnologías que están asociadas a ella es una herramienta tecnológica con un vasto potencial para mejorar la eficiencia reproductiva, disminución del tiempo generacional, el control sobre la descendencia y la genética de los rebaños ovinos. Sin embargo, es importante considerar sus costos, limitaciones y aspectos técnicos antes de realizar su implementación en los rebaños.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, Margarita. (2018). Separación de los espermatozoides "Y" en ovinos Katahdin en diferentes gradientes de densidad de albumina sérica humana. Tesis de maestría.
- Bhat, A., Riyaz-UI-Hassan, S., Srivastava, N., y Johri, S. (2015). Molecular cloning of rhodanese gene from soil metagenome of cold desert of North-West Himalayas: sequence and structural features of the rhodanese enzyme. *3 Biotech*, 5, 513-521.
- Bonilla León, L., Mejía Gallego, A., Gómez Domínguez, R., Torres Londoño, M., y Uribe García, F. (2018). Viabilidad y tasa de preñez de embriones producidos in vitro a partir de semen sexado comparado con semen convencional en *Bos taurus* y *Bos indicus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(4), 1377-1385.
- Cabral, L. A. R., Pacheco, W. B., Dos Santos, S. S. A., Da Silva Prado, A., y Nunes, J. F. (2023). Técnicas de sexagem espermática e sua importância na produção animal. *Ciência Animal*, 23(2), 118-a.
- Castex, H. R., y Losinno, L. (2018). Nanopartículas magnéticas para separación de espermatozoides X en semen equino. Resultados de campo y comerciales. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 268-276.
- Copello, M. J. (2011). Semen sexado en conejos: efecto de tratamientos de Swim-up y Percoll en la tasa de nacimientos de machos y hembras.
- Da Silva, E. C. B., y Guerra, M. M. P. (2019). Potencial biotecnológico da sexagem espermática na produção animal. *Ciência Animal*, 29(4), 101-111.
- De Graaf, S. P., Leahy, T., y Vishwanath, R. (2014). Biological and practical lessons associated with the use of sexed semen. *Reproduction in Domestic Ruminants*, 8, 9th.
- De Lima, V. F. H., y Nociti, R. P. (2019). Evolução da utilização de espermatozoides sexados. *Rev. Bras. Reprod. Anim*, 43(2), 289-294.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

- Duque- Chamorro, I. M., y Pulgarín-vergara, I. (2011). Evaluación reproductiva y productiva en un rebaño de ovejas (*Ovis orientalis aries*) en el municipio de bello, Antioquia. Rev col. Cienc. Pec, 24(3), 547-7.
- Domínguez, E., Moreno-Irusta, A., Castex, H. R., Bragulat, A. F., Ugaz, C., Clemente, H., ... y Losinno, L. (2018). Sperm sexing mediated by magnetic nanoparticles in donkeys, a preliminary *in vitro* study. Journal of Equine Veterinary Science, 65, 123-127.
- Fernandes, L., y Minhoto, M. (2019). A produção primária e a quantidade de oferta alimentar de carne, ovos e leite a nível mundial—os últimos 50 anos e perspectivas para o século xxi.
- Filipiak, Y., Larocca, C., y Martínez, M. (2017). Comportamiento del semen bovino sexado congelado-descongelado en fertilización in vitro (FIV) capacitado mediante BO en dos concentraciones versus percoll. International Journal of Morphology, 35(4), 1337-1341.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Fao.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023). Recuperado el 15 de 08 de 2023, Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares 2000: <https://www.fao.org/3/V5290S/v5290s24.htm>
- Franchini, M., Gens, M., y Catena, M. (2016). Evaluación Del Semen Sexado Y Su Efecto En Índices Reproductivos. Facultad de Ciencias Veterinarias–UNICEN. Disponible en el URL: <https://biblio.unicen.edu.ar>
- Garner, D. L. (2006). Flow cytometric sexing of mammalian sperm. Theriogenology, 65(5), 943-957..
- Gibbons, A. E., Cueto, M. I., Bruno Galarraga, M. M., Villar, M. L., Giraudo, C. G., y Villagra, E. S. (2020). Detección de problemas y prácticas de manejo para mejorar la eficiencia reproductiva de las majadas. EEA Bariloche.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

- González, A., Hernández, J., Vázquez, J. F., y de México, A. D. E. (2021a) Colección y evaluación de semen de sementales ovinos y caprinos para uso en fresco o congelado.
- González-Marín, C., Góngora, C. E., Moreno, J. F., y Vishwanath, R. (2021b). Small ruminant SexedULTRA™ sperm sex-sorting: Status report and recent developments. *Theriogenology*, 162, 67-73.
- González, C. A., Grajales, H. A., Manrique, C., y Téllez, G. (2011). Gestión de la información en los sistemas de producción animal:-una mirada al caso de la ovino-caprinocultura. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 58(3), 176-193.
- Gupta, A., Chaudhary, M., Goyal, R. K., Yadav, V., Chandra, S., y Sinha, S. (2018). Recent advances in reproductive biotechnologies in small ruminants. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 62-66.
- ICA. (2023). Recuperado el 15 de 08 de 2023, de Instituto Colombiano Agropecuario, Censo Pecuario 2023: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Izquierdo, A. C., Liera, J. E. G., Mancera, A. V., Olivares, J., Pérez, G. C. A., Mosaqueda, M. D. L. J., y Pérez, J. F. (2015). Congelación de embriones bovinos embryo freezing cattle. *Revista complutense de ciencias veterinarias*, 9(2), 22-40.
- Kumar, G., Yadav, S., y Yadav, D. (2020). Recent advances in reproductive biotechnologies in sheep and goat.
- Lozano Márquez, H. (2014). Reproducción ovina en Colombia. *Revista Ciencia Animal*, 1(8), 67-83.
- Luo, J., Wang, W., y Sun, S. (2019). Research advances in reproduction for dairy goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1284.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

- McCracken, T. O., Kainer, R. A., y Spurgeon, T. L. (2006). Spurgeon's color atlas of large animal anatomy: the essentials. John Wiley Y Sons.
- Menchaca, A., dos Santos-Neto, P. C., Cuadro, F., Souza-Neves, M., y Crispo, M. (2018). From reproductive technologies to genome editing in small ruminants: An embryo's journey. *Animal Reproduction*, 15(Suppl 1), 984.
- Muñoz, C. (2001). Reproducción de ovinos: conceptos básicos, manejo y biotecnología. *Avances en*, 37.
- Peláez Mendoza, A., y Betancourt Sánchez, S. A. (2021). Actualización sobre el semen sexado en bovinos.
- Polat, I., Amutkan Mutlu, D., y Suludere, Z. (2020). Accessory glands of male reproductive system in *Pseudochorthippus parallelus parallelus* (Zetterstedt, 1821)(Orthoptera: Acrididae): A light and electron microscopic study. *Microscopy Research and Technique*, 83(3), 232-238.
- Puerto, L. F. (2020). Semen sexado en ganado bovino.
- Ramírez Antolínez, C. C. (2022). Manual de procedimientos para la evaluación andrológica, calidad seminal y criopreservación de semen ovino-caprino del laboratorio de biotecnología de la reproducción animal del centro académico Guatiguará, UCC.
- Ramirez Castex, H. (2016). Utilización de nano-partículas magnéticas para separar espermatozoides X de Y en semen equino.
- Resende, M. V., Lucio, A. C., Perini, A. P., Oliveira, L. Z., Almeida, A. O., Alves, B. C. A., ... y Hossepian de Lima, V. F. M. (2011). Comparative validation using quantitative real-time PCR (qPCR) and conventional PCR of bovine semen centrifuged in continuous density gradient. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63, 544-551.

SEXAJE ESPERMÁTICO EN OVINOS Y SU REPERCUSIÓN EN SISTEMAS PRODUCTIVOS.

- Scott, C., Souza, F. F., Mothe, G. B., Aristizabal, V. H. V., y Antonio Jr, J. (2018). Study of different spermatozoa sexing techniques/estudio sobre las diferentes tecnicas de sexaje de espermatozoides/estudo sobre as diferentes tecnicas de sexagem de espermatozoides. *Veterinaria e zootecnia*, 25(1), 21-30.
- Seidel Jr, G. E. (2015). Lessons from reproductive technology research. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 3(1), 467-487.
- Thornton, P. K. (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2853-2867.
- Vigil Souto, M. (2015). Efecto de la suplementación con zinc sobre la calidad espermática y la fertilidad de semen fresco y congelado en carneros Merino australiano.
- Vishwanath, R., y Moreno, J. F. (2018). Semen sexing—current state of the art with emphasis on bovine species. *Animal*, 12(s1), s85-s96.

ACUERDO 027 DEL 16 DEL 16 DE DICIEMBRE DE 2021
ARTÍCULO 46.- OPCIONES DE TRABAJO DE GRADO
OPCIÓN MONOGRAFÍA

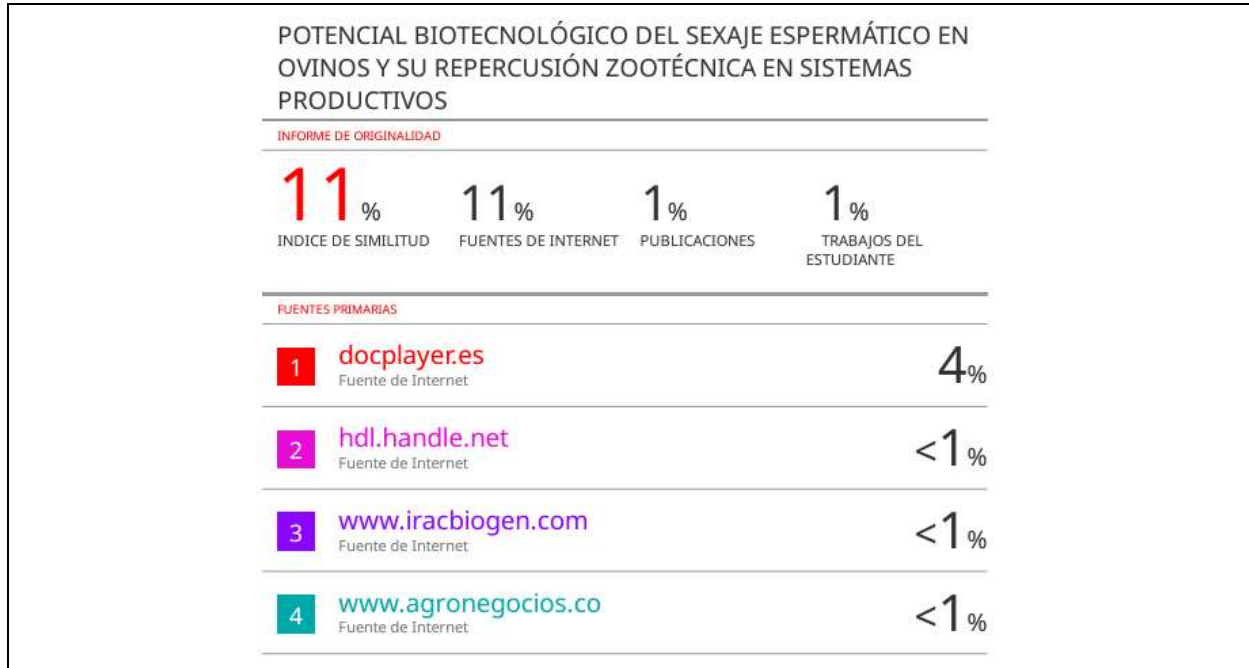
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
Programa de Zootecnia (Acreditado Alta Calidad Res. MEN 009412 de 2022)

Evidencia anti-plagio - *Turnitin*

| ARTÍCULO 61.- DEBERES |
|---|
| 13. No cometer fraude académico o plagio en las pruebas de evaluación, exámenes o trabajos escritos presentados en desarrollo del proceso de aprendizaje y formación, así como el respeto a la propiedad intelectual. |

| ARTÍCULO 62.- FALTAS |
|--|
| 1. El fraude: c. Utilizar citas o referencias falsas o registrar indebidamente referencias que no coincidan con las citas. d. Presentar como de su propia autoría la totalidad o parte de una obra, trabajo, documento o invención realizados por otra persona; incorporar un trabajo ajeno en el propio de tal forma que induzca a error al observador o lector en cuanto a la autoría del mismo. |

Inserte una evidencia¹ del índice de similitud (%) arrojado por la herramienta *Turnitin* ↓



| 0% - 25% |
|---|
| Permitido |
| El documento se puede entregar y radicar como propuesta (anteproyecto). |

| >25% |
|---|
| No permitido |
| El documento no se puede entregar ni radicar como propuesta (anteproyecto). Se hace obligatoria la revisión exhaustiva de este por parte del estudiante y el director para hacer los ajustes pertinentes. |

¹ Procedimiento: tome pantallazo del reporte de originalidad → Guarde el pantallazo como imagen (jpg/jpeg/png) en el PC → seleccione el recuadro o posicione el cursor dentro del recuadro (cuando el texto ya haya sido borrado) → Vaya a la barra de herramientas de Word - pestaña "Insertar" → función "Imágenes" → "Insertar imágenes desde este dispositivo" → seleccione el pantallazo (imagen jpg/jpeg/png) desde la ubicación de guardado en el PC → pique "Insertar".