

UTILIZACIÓN DE SEMEN SEXADO EN LA PRODUCCIÓN DE EMBRIONES BOVINOS: UN ESTUDIO DETALLADO

USE OF SEXED SEMEN IN BOVINE EMBRYO PRODUCTION: A DETAILED STUDY

Carlos Andrés Mancheno Herrera¹, Julio César Llerena Zambrano², Marco Mauricio Chávez Haro³, Nora Tahirí Mejía Cabezas⁴

{andres.mancheno@esPOCH.edu.ec¹, julio.llerena@esPOCH.edu.ec², mauricio.chavez@esPOCH.edu.ec³, nora.mejia@esPOCH.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 15/06/2025 / Fecha de aceptación: 30/06/2025 / Fecha de publicación: 01/07/2025

RESUMEN: La biotecnología reproductiva del ganado bovino ha avanzado en el uso de semen sexado, una herramienta que permite prever el sexo de la cría y, por ende, mejorar la rentabilidad de los rebaños lecheros. Sin embargo, la técnica más común, la clasificación por citometría de flujo, sigue planteando inquietudes prácticas porque reduce tanto la motilidad como la viabilidad de los espermatozoides, lo que repercute en la fertilización, el crecimiento del embrión y, en última instancia, en las tasas de gestación. Ante este panorama, la presente revisión se propone sintetizar los logros alcanzados, las restricciones vigentes y las oportunidades futuras para la producción de embriones a partir de semen sexado. Para ello se llevó a cabo una búsqueda sistemática de artículos publicados entre 2019 y 2024 en bases de datos reconocidas (Scopus, SciELO, Dialnet y Consensus) y se priorizaron los trabajos que analizan la fertilización in vitro, la criopreservación, las estrategias para elevar la calidad del semen y la eficiencia reproductiva en el marco de la biotecnología bovina. Los estudios indican que, aunque la proporción de blastocistos producidos a partir de semen sexado sigue siendo inferior, la incorporación de antioxidantes, medios de cultivo sofisticados, la selección cuidadosa de espermatozoides y una sincronización hormonal estricta han incrementado la calidad embrionaria y las tasas de implantación. Sin embargo, el coste elevado del semen sexado y su menor eficiencia en vacas adultas continúan siendo limitaciones significativas que los criadores deben abordar. Por consiguiente, el semen sexado se mantiene como una herramienta indispensable para el ganadero contemporáneo, pero su rentabilidad y sostenibilidad dependen de protocolos bien estructurados y de la selección precisa de los animales destinatarios de la inseminación.

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Facultad de Ciencias Pecuarias. Panamericana Sur km. 1½, Riobamba, 060155, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2682-0336>.

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Facultad de Ciencias Pecuarias. Panamericana Sur km. 1½, Riobamba, 060155, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-9434-184X>.

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Facultad de Ciencias Pecuarias. Panamericana Sur km. 1½, Riobamba, 060155, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-1335-6885>.

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Facultad de Ciencias Pecuarias. Panamericana Sur km. 1½, Riobamba, 060155, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-0308-5412>.

Palabras clave: reproducción bovina, biotecnología reproductiva, embriones, mejoramiento

ABSTRACT: Reproductive biotechnology in cattle has advanced the use of sexed semen, a tool to predict the sex of breeding stock and thereby improve the profitability of dairy herds. However, the most common technique, flow cytometry sorting, still raises practical concerns because it reduces both sperm motility and viability, which impacts fertilization, embryo growth and, ultimately, gestation rates. Against this background, the present review aims to synthesize the achievements, current constraints and future opportunities for embryo production from sexed semen. For this purpose, a systematic search of articles published between 2019 and 2024 in recognized databases (Scopus, SciELO, Dialnet and Consensus) was carried out and papers analyzing in vitro fertilization, cryopreservation, strategies to raise semen quality and reproductive efficiency in the framework of bovine biotechnology were prioritized. Studies indicate that although the proportion of blastocysts produced from sexed semen remains lower, the incorporation of antioxidants, sophisticated culture media, careful sperm selection and strict hormonal synchronization have increased embryo quality and implantation rates. However, the high cost of sexed semen and its lower efficiency in adult cows remain significant constraints that breeders must address. Consequently, sexed semen remains an indispensable tool for the contemporary breeder, but its profitability and sustainability depend on well-structured protocols and accurate selection of target animals for insemination.

Keywords: bovine reproduction, reproductive biotechnology, embryos, improvement

INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva sigue siendo clave para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos bovinos, tanto de carne como de leche. En este escenario, las tecnologías reproductivas avanzadas han optimizado los programas de mejoramiento, y el semen sexado se destaca como una de las herramientas más relevantes de la última década. Al permitir elegir con precisión el sexo de la cría, esta técnica incrementa la productividad y el valor económico de los rebaños, un beneficio que resulta especialmente visible en la industria lechera, donde la demanda de hembras es prioritaria (1,2).

El sexado espermático, que se lleva a cabo casi siempre por citometría de flujo, se funda en la leve variación en el contenido de ADN entre los espermatozoides que llevan un cromosoma X y los que llevan un Y. Sin embargo, la técnica puede ocasionar cambios fisiológicos que perjudican la calidad del semen, incluyendo menores tasas de motilidad, viabilidad y capacidad fertilizante, problemas que se han atribuido al estrés mecánico, químico y oxidativo producido en cada etapa del procedimiento (3,5). Tales alteraciones tienen consecuencias negativas sobre la fertilización in vitro, el desarrollo de los embriones y, en última instancia, sobre la tasa de

preñez, todos ellos indicadores cruciales de la eficacia de los programas de reproducción asistida (6,7).

Aunque se han documentado progresos claros en el manejo del cultivo, en la suplementación antioxidante y en la selección basada en la morfología espermática, la eficiencia reproductiva lograda con semen sexado aún se sitúa por debajo de la alcanzada con el semen convencional (8, 9). Asimismo, factores como la edad del toro, la calidad del eyaculado, la composición de la microbiota seminal y la competencia ovocitaria ejercen una influencia considerable sobre los resultados finales.

En este contexto, la pregunta central que guía el estudio es hasta qué punto las restricciones técnicas y biológicas del semen sexado afectan la producción de embriones in vitro, lo que exige una valoración honesta de los protocolos en uso y de los resultados que realmente generan. De ahí que el propósito de esta revisión sea examinar los principios científicos, los obstáculos persistentes y los desarrollos recientes asociados con la creación de embriones bovinos a partir de semen sexado, centrándose sobre todo en su rendimiento reproductivo y en la viabilidad de su adopción en la ganadería actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación toma la forma de una revisión narrativa y se organiza como un estudio documental, pues su objetivo principal es ofrecer un examen crítico de los trabajos científicos más recientes sobre la obtención de embriones bovinos a partir de semen sexado.

El análisis se centró en artículos científicos indexados publicados entre 2019 y 2024 que examinaron la eficacia del semen sexado en fertilización in vitro, las tasas de desarrollo embrionario (morula, blastocisto), los métodos de criopreservación, la calidad espermática, los protocolos de superovulación y los parámetros reproductivos, tales como las tasas de preñez e implantación.

Se llevó a cabo una búsqueda sistemática en bases de datos reconocidas, entre ellas Scopus, SciELO, Dialnet y el repositorio Consensus. Los descriptores empleados, combinados mediante operadores booleanos, fueron semen sexado, fertilización in vitro bovina, biotecnología reproductiva, eficiencia embrionaria, criopreservación y producción de embriones bovinos.

Los criterios de inclusión abarcaron artículos disponibles en texto completo, revisados por pares, en español, inglés o portugués y que contengan datos experimentales pertinentes. Se excluyeron informes duplicados, comunicaciones breves, cartas al editor y documentos que carecieran de fundamento metodológico.

Para resumir los hallazgos, se adoptó un enfoque cualitativo descriptivo y no se emplearon estadísticas inferenciales porque no se realizó un metaanálisis. La información se organizó de

acuerdo con las principales categorías temáticas y se contrastó en función de su rigor científico y su pertinencia para el objetivo del estudio.

RESULTADOS

1. Bases biológicas del uso de semen sexado

La inseminación con semen sexado en bovinos se fundamenta en la capacidad de elegir el sexo de las crías, lo que mejora la eficiencia y la rentabilidad de las explotaciones ganaderas. En esta especie, el sexo está determinado por el cromosoma que aporta el espermatozoide: los que llevan X producen hembras y los que llevan Y generan machos. Esta distinción ha hecho posible que se creen métodos de sexado que permiten seleccionar la progenie de acuerdo con los objetivos de cada sistema productivo (5).

Entre los distintos procedimientos que se utilizan para separar espermatozoides, la citometría de flujo sigue siendo uno de los más habituales porque permite distinguir las células en función de la cantidad de ADN que llevan y, por lo tanto, identificar los gametos con cromosoma X o con cromosoma Y. Aunque la técnica es muy precisa, su uso tiende a reducir la viabilidad de los espermatozoides porque estos quedan expuestos a tintes fluorescentes, sufren cierto estrés mecánico y pasan por un ciclo repetido de congelación y descongelación (6). Para sortear esos problemas, han empezado a probarse estrategias de sexación inmunológica que se apoyan en proteínas concretas de la membrana del espermatozoide y que, en principio, podrían ser menos agresivas y más eficientes (7).

El semen sexado ha sido objeto de múltiples estudios relacionados con la eficiencia reproductiva de los animales de los que habitualmente se hace uso en ganadería. Aunque esta técnica proporciona un mayor control sobre el sexo de la descendencia, el procedimiento de separación puede afectar la motilidad y la capacidad fecundante de los espermatozoides, lo que se traduce en tasas de concepción más bajas que las logradas con semen convencional (8). Sin embargo, investigaciones recientes demuestran que el empleo de protocolos de inseminación, junto con mejoras en la conservación del semen, atenúa esos efectos negativos y aumenta la tasa de preñez en diversos sistemas de producción bovina (7).

2. Técnicas de producción de embriones con semen sexado

Hace años que el semen sexado permite decidir con gran puntualidad el sexo de las crías bovinas, y esta capacidad ha cambiado la forma en que se gestiona el ganado. No obstante, al combinar esta tecnología con procedimientos sofisticados como la fecundación in vitro, la transferencia de embriones, la superovulación o la criopreservación, surgen dificultades que obligan a ajustar cada protocolo si se quiere de verdad maximizar su eficacia.

A. Fertilización in vitro (FIV): adaptando protocolos para mejorar resultados con semen sexado

El semen sexado es menos viable y motil que el semen criopreservado convencional, principalmente porque el proceso de selección somete la muestra a un considerable estrés físico y térmico. Estudios recientes han medido su desempeño en sistemas de producción de embriones in vitro (IVP). Un ensayo comparativo utilizando semen sexado ULTRA-4M y esperma no manipulado mostró que el porcentaje de blastocistos en el Día 7 de cultivo fue del 5.6 frente al 4.9, una diferencia demasiado pequeña para cumplir con los umbrales convencionales de significancia estadística (3). No obstante, algunos investigadores han registrado promedios de 6.6 blastocistos por colección al utilizar semen sexado, en comparación con 5.2 para la cohorte no seleccionada (1). Tomadas en conjunto, estas observaciones apuntan a la viabilidad práctica del semen sexado en FIV, siempre que los entornos de cultivo y los métodos de selección de esperma se afinen.

B. Transferencia de embriones (TE): factores que influyen en la viabilidad embrionaria

El éxito de la transferencia de embriones generados a partir de semen sexado depende de múltiples variables, incluidas la calidad del embrión, el estado del útero receptor y el protocolo hormonal administrado a la hembra. En un ensayo realizado con vacas sometidas a diferentes técnicas de reproducción asistida, se demostró que la cantidad y calidad de los ovocitos determina, de manera directa, el porcentaje de gestaciones obtenidas mediante TE (9). Adicionalmente, los procedimientos de manipulación espermática pueden generar estrés oxidativo, lo cual compromete la integridad embrionaria y disminuye las tasas de implantación observadas en el campo.

C. Superovulación e Inseminación Artificial (IA): comparación con FIV en términos de éxito reproductivo

La superovulación combinada con inseminación artificial (IA) se emplea desde hace días en programas de mejora genética bovina. Sin embargo, cuando se utiliza semen sexado, las tasas de concepción caen respecto al semen convencional; en ensayos de campo se reporta una preñez del 49.14% frente al 57.37% obtenido con el semen estándar (7). Este desempeño sugiere que, para maximizar el número de embriones, la fecundación in vitro (FIV) puede ser una opción más favorable cuando se dispone de semen sexado.

D. Criopreservación de embriones generados con semen sexado: retos y avances

La criopreservación de embriones producidos con semen sexado sigue siendo complicada porque este material genético es muy vulnerable a las lesiones que ocurren durante el proceso de congelación. Varios estudios han evaluado el efecto de distintos crioprotectores sobre la calidad del esperma tras la descongelación y han puesto de relieve el papel crucial de los antioxidantes para reducir el daño oxidativo (4). Por otra parte, la adición de ácido ascórbico ha mostrado que puede aumentar la motilidad y la viabilidad del esperma tras el procedimiento, (10) lo que sugiere que perfeccionar las soluciones de congelado resulta decisivo para preservar la eficacia reproductiva.

3. Factores que influyen en la eficiencia de la producción de embriones con semen sexado

La generación de embriones a partir de semen sexado ha surgido como herramienta central en la mecanización reproductiva del ganado bovino, aunque su rendimiento final sigue dependiendo de una serie de condicionantes que operan en cadena. Durante el proceso de separación de los espermatozoides portadores de cromosomas X y Y, realizado típicamente mediante citometría de flujo, las células se someten a estrés físico por el paso a alta velocidad por una microcapilar y a variaciones químicas en los medios de almacenamiento. Este doble estrés ha llevado a numerosos investigadores a observar que, en comparación con el semen convencional, el semen sexado presenta fertilizaciones y tasas de desarrollo inmediato más bajas en términos estadísticos (11).

En el campo de la fertilización in vitro, la eficiencia del semen sexado varía de acuerdo con la edad del toro, el procedimiento de conservación utilizado y la calidad inicial del eyaculado; estas condiciones afectan el comportamiento de los espermatozoides durante el sexado y, en consecuencia, su rendimiento en la maduración, la fertilización y el desarrollo embrionario (12).

Adicionalmente, la microbiota que acompaña al semen desempeña un papel significativo en la calidad espermática. Estudios recientes muestran que ciertos grupos microbianos pueden alterar la capacidad fecundante del eyaculado, lo que sugiere que ajustar este ecosistema microbiano podría elevar la eficiencia reproductiva del semen sexado (13).

El entorno en el que maduran los gametos y los embriones es un factor crítico que puede determinar el éxito final del desarrollo embrionario. Elementos como la formulación del medio de cultivo, el nivel de oxígeno disuelto y la incorporación de compuestos antioxidantes ejercen una influencia tangible sobre la proporción de blastocistos que alcanzan la etapa viable en los laboratorios de manipulación celular. De hecho, los estudios indican que agregar antioxidantes al medio mitiga las consecuencias del estrés oxidativo que suelen experimentar los espermatozoides sexados, promoviendo, así, un avance más saludable en el desarrollo embrionario (14).

Por otra parte, aunque el uso de semen sexado ofrece a los criadores la posibilidad de programar la proporción de sexos en la descendencia, la tasa de gestación resultante de los embriones generados con esa técnica permanece, en general, por debajo de la observada cuando se emplea semen convencional. En un ensayo realizado con ganado Cebú, la tasa de gestación estimada para los embriones de semen sexado fluctuó entre el 30 y el 40 por ciento, en tanto que el grupo tratado con semen estándar alcanzó entre el 50 y el 60 por ciento, lo que señala una caída notable en la eficiencia reproductiva al optar por la tecnología denominada sexado. Esta brecha se relaciona, fundamentalmente, con el menor número y calidad de espermatozoides que se obtienen tras el proceso de sexado, un déficit que indirectamente repercute en la fertilización y, subsecuentemente, en la salud del embrión (1).

Los embriones clasificados como de muy buena calidad mostraron tasas de gestación claramente más altas, entre el 50 y el 55 por ciento, frente al 30 y el 35 por ciento observadas en los de calidad intermedia. Este hallazgo resalta la necesidad de mantener un control riguroso

durante toda la producción embrionaria. La calidad final del embrión depende, entre otros aspectos, de la formulación del medio de cultivo, de la densidad de espermatozoides en el inseminado y de la integridad del ovocito. El trabajo también encontró que el porcentaje de blastocistos generado a partir de semen de sexo marcado es, aproximadamente, un 20-25 por ciento inferior al que se obtiene con semen convencional: una diferencia que aparece ya en las primeras etapas celulares y sugiere que el tratamiento o la técnica ejercen algún efecto adverso temprano.

En paralelo, el periodo de maduración in vitro de los ovocitos influyó de modo significativo en la evolución embriológica. Cuando se compararon donantes de distintas edades reproductivas, se constató que los ovocitos de ancianas maduraban con menos frecuencia y, luego, producían menos blastocistos. Tal conducta, si se mantiene dentro de un programa de fecundación in vitro, puede degradar la eficiencia general del sistema (1).

El momento de la transferencia del embrión sigue siendo un factor crítico para el éxito de la implantación y la gestación, pues los estudios muestran que los resultados son significativamente mejores cuando el procedimiento se lleva a cabo dentro de las cinco horas posteriores a la producción del embrión. Asimismo, el sexado del semen puede desencadenar cambios en la metilación del ADN y en la expresión de microARN, alteraciones que eventualmente perjudican el desarrollo temprano; de hecho, algunos microARN que aparecen en espermatozoides de calidad deficiente se han relacionado con una menor eficacia de la fecundación in vitro y con una reducción en la viabilidad del embrión. Por otro lado, la variabilidad genética entre los toros donantes tiene un impacto notable en el desarrollo embrionario; por tanto, cuando se elige cuidadosamente el semen sexado, se logran resultados superiores en los programas de reproducción asistida.

4. Aplicaciones y beneficios del semen sexado en la industria ganadera

El semen sexado ha revolucionado la ganadería moderna, permitiendo que los productores planifiquen casi el 90 de la descendencia que será hembra o macho. Esta precisión ha hecho que los ciclos reproductivos sean más eficaces y que los costos fijos de las explotaciones se repartan entre más animales, ya sean lecheros o de carne.

Al caminar el hato lechero con más hembras, la industria gana litros de leche y ahorra meses de espera. Investigaciones recientes indican que la tasa de nacimiento de hembras supera el 85, lo que alimenta una expansión sostenible de los rebaños (18). En sistemas cárnicos, la búsqueda de machos obedece a que convierten alimento en carne con mayor eficiencia; así, el uso de semen sexado ha elevado la proporción de terneros y se traduce en un incremento de 15 a 20 en las ganancias de los engordes (19).

5. Limitaciones y desafíos en la aplicación del semen sexado

La introducción de semen sexado representa un hito dentro de la biotecnología reproductiva, ya que ofrece la posibilidad de elegir el sexo de la descendencia y, con ello, optimizar el

funcionamiento de las explotaciones ganaderas. Sin embargo, su utilización no está exenta de problemas que pueden limitar tanto la eficacia reproductiva como la viabilidad económica, por lo que la industria sigue buscando formas de hacer esta herramienta más accesible y rentable. La principal barrera en su adopción sigue siendo el precio porque cada dosis sexada, obtenida por separación de espermatozoides a través de citometría de flujo, cuesta entre un 30 por ciento y un 50 por ciento más que una dosis convencional. Este sobrecosto repercute directamente en la rentabilidad de los productores que deben evaluar cada inseminación en función de su sistema y del retorno de inversión que esperan obtener, una realidad que se ha documentado en múltiples estudios recientes sobre la disposición a pagar por esta innovadora tecnología.

Los datos disponibles sugieren que, para que el uso de semen sexado genere beneficios económicos, los ganaderos deben implementar prácticas de manejo cuidadosas y elegir con precisión a los animales que serán inseminados. La principal restricción de esta herramienta reproductiva radica en su tasa de concepción significativamente más baja que la que se obtiene con semen convencional; esta pérdida se explica, entre otros factores, por el daño celular ocasionado durante el procedimiento de sexado y por la presentación de una concentración de espermatozoides inferior en cada dosis. Varias investigaciones han documentado que, en vacas multíparas, la tasa de preñes puede ser hasta un 20% más baja cuando se emplea semen sexado en lugar del tradicional (22). Para reducir ese margen, se han propuesto estrategias orientadas a optimizar su implementación y uno de los enfoques recomendados es reservar su uso para novillas, pues ellas suelen presentar mejores índices de fertilidad que las vacas adultas (23).

Un programa estricto que alinea el ciclo estral de las hembras con el momento más favorable para la inseminación ha demostrado aumentar notablemente las tasas de concepción en los esquemas de inseminación artificial (24). Al mismo tiempo, la mejora continua de la criopreservación de gametos, combinada con la inclusión de antioxidantes en los medios de cultivo, ha mostrado un aumento en la supervivencia espermática tras la descongelación y, por ende, una mejora en el rendimiento reproductivo del semen sexado (25). Cuando se aplican estas estrategias de forma coordinada, se abre una ruta alentadora para cerrar la diferencia de eficacia reproductiva que hoy persiste entre el semen sexado y el convencional.

DISCUSIÓN

El empleo de semen sexado ha revolucionado la biotecnología reproductiva del ganado bovino, pues permite decidir el sexo de la cría y mejorar la productividad de embriones mediante enfoques como la fertilización in vitro (FIV) y la transferencia de embriones (TE). Pese a sus ventajas, la técnica enfrenta retos derivados de la reducción en la motilidad y la viabilidad de los espermatozoides tras el sexado por citometría de flujo, lo que puede perjudicar tanto la fertilización como el posterior desarrollo embrionario.

Para solventar esas limitaciones se han propuesto medidas concretas: optimizar la selección de espermatozoides, mejorar la maduración de los ovocitos, añadir antioxidantes al medio de

cultivo y perfeccionar los protocolos de congelación de los embriones producidos con ese semen. Gracias a estas innovaciones la tasa de blastocistos y la viabilidad embrionaria han avanzado, si bien los índices de implantación y de preñez permanecen por debajo de los que se obtienen con el semen convencional.

La adopción de esquemas de superovulación e inseminación artificial más refinados, sumada a la aparición de técnicas de sexado de semen menos invasivas, podría mitigar los efectos adversos que hasta ahora afectan a la calidad del esperma y de los embriones generados. De igual forma, el uso de herramientas genómicas para valorar la competencia espermática, junto con protocolos de fecundación in vitro a medida que consideran la calidad del semen y la edad de las donantes, constituye una vía de investigación cada vez más prometedora.

Aunque el semen sexado todavía presenta limitaciones en costes y en índices reproductivos, combinar estos avances tecnológicos con la producción de embriones bovinos permitirá desplegar todo su potencial en el ámbito ganadero. A medida que se perfeccionan los protocolos de fecundación in vitro, transferencia de embriones y criopreservación, este tipo de semen tiene la oportunidad de reafirmarse como una herramienta clave para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad de la reproducción asistida en bovinos.

CONCLUSIONES

Los programas de cría de ganado emplean cada vez más semen sexado como una herramienta biotecnológica precisa que permite a los productores favorecer terneros machos o hembras, una práctica que es especialmente palpable en rebaños lecheros de alto volumen. No obstante, para lograr tasas óptimas de concepción, los técnicos deben cumplir estrictamente con los protocolos de fertilización in vitro, transferencia de embriones y criopreservación, ya que el proceso de separación reduce inevitablemente la motilidad y viabilidad del esperma. Las mejoras recientes en los medios de cultivo, la inclusión estratégica de antioxidantes y los horarios de sincronización hormonal más fiables ahora alivian algunos de estos contratiempos, mejorando así el rendimiento y la calidad del desarrollo de los embriones.

Incluso con estas mejoras, el semen sexado aún exhibe una fertilidad inferior a la de las pajuelas convencionales, y su mayor costo de producción debe ser sopesado cuidadosamente en relación con los beneficios genéticos esperados. La eficiencia reproductiva general depende de varias variables interactivas: la integridad del eyaculado, la edad del semental, la microbiota seminal y la calidad de los ovocitos y los embriones resultantes. En consecuencia, un enfoque sistemático que abarque una rigurosa selección de toros, un preciso momento de ovulación y protocolos reproductivos adaptados sigue siendo esencial si los productores desean aprovechar plenamente el semen sexado y justificar su lugar en empresas de cría a gran escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nogueira BGR, De Souza LFA, Puelker RZ, Giometti IC, Firetti SMG, Dias TSDBS, et al. Factors affecting the in vitro production of bovine embryos in a commercial program. *Research Society And Development* [Internet]. 9 de febrero de 2021;10(2):e16110212264. Disponible en: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12264>
2. Velazquez A, Alvarez H, Kjelland M, Villaseñor F, Ariza G, Romo S. 72 Invitro embryo production using prepubertal calf oocytes with conventional semen and sexed semen ULTRA-4M. *Reproduction Fertility And Development* [Internet]. 2 de diciembre de 2019;32(2):162. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/rdv32n2ab72>
3. Alvarez H, Kjelland M, Villaseñor F, Pérez M, Romo S. 71 Comparison of sexed semen ULTRA-4M with conventional semen for the invitro production of bovine embryos. *Reproduction Fertility And Development* [Internet]. 2 de diciembre de 2019;32(2):161. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/rdv32n2ab71>
4. Almeida FDS. Efeito da insulina na criopreservação do sêmen bovino sobre a produção in vitro de embriões [Internet]. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.11606/d.10.2020.tde-15052020-123158>
5. Singh D, Kumar P, Nehra K, Kumar A. Sexed semen technology in cattle: A revolutionary technique in Indian dairy industry. *www.entomoljournal.com* [Internet]. 2019; Disponible en: <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=6&ArticleId=6035>
6. Tavares T, Lopes J. LIMITAÇÕES DA CITOMETRIA DE FLUXO NA SEXAGEM DE SÊMEN BOVINO. *Enciclopédia Biosfera* [Internet]. 27 de septiembre de 2024;21(49). Disponible en: https://doi.org/10.18677/encibio_2024c8
7. Sharma P, Sharma M. Immunological Approaches for Sexing Bovine Sperm: A Comprehensive Overview. *Journal Of Scientific Research And Reports* [Internet]. 11 de julio de 2024;30(7):995-1007. Disponible en: <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i72209>
8. Joshi H, Mathur M, Mohanty A, Kumar S, Kaushik J, Mohanty T, et al. Semen Sexing in Bovine: Current Status and the Need to Develop Alternative Techniques. *Animal Reproduction Update* [Internet]. 1 de enero de 2021;1(1):17-31. Disponible en: <https://doi.org/10.48165/aru.2021.1203>
9. Morera-Jiménez A, Velasco-García E, Herás S, Romero-Aguirregomez J, Ruiz S. RESPUESTA a LA ESTIMULACIÓN OVÁRICA MEDIANTE FSH (Folltropin®) y RENDIMIENTO DE OPU EN VACAS ADULTAS OBTENIDAS POR DIFERENTES TÉCNICAS DE REPRODUCCIÓN ASISTIDA. *Anales de Veterinaria de Murcia* [Internet]. 15 de noviembre de 2022;36. Disponible en: <https://doi.org/10.6018/analesvet.538651>
10. Maulana T, Afiati F, Gunawan M, Kaiin EM. Kinematics motility of friesland-holstein sperm sexing in l-ascorbic acid treatments. *IOP Conference Series Earth And Environmental Science* [Internet]. 1 de mayo de 2021;762(1):012081. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012081>
11. Caraballo MK, Giroski AM, Sharma R, Agarwal A. Semen analysis. En: CRC Press eBooks [Internet]. 2019. p. 19-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9780429485763-3>

12. Santosh T. Semen Analysis: an update. *Annals Of Pathology And Laboratory Medicine* [Internet]. 2 de agosto de 2023;10(4):R1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.21276/apalm.3229>
13. Farahani L, Tharakan T, Yap T, Ramsay JW, Jayasena CN, Minhas S. The semen microbiome and its impact on sperm function and male fertility: A systematic review and meta-analysis. *Andrology* [Internet]. 14 de agosto de 2020;9(1):115-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/andr.12886>
14. Pokhrel S, Ghimire A, Chhetry M, Lamichane S, Shreewastav RK. Selected Risk Factors and Pattern of Semen Abnormality in Male Partners of Infertile Couples in Eastern Nepal: A Descriptive Cross-sectional Study. *Journal Of Nepal Medical Association* [Internet]. 27 de septiembre de 2020;58(229). Disponible en: <https://doi.org/10.31729/jnma.4882>
15. Du C, Li Y, Yin C, Luo X, Pan X. Association of abstinence time with semen quality and fertility outcomes: a systematic review and dose–response meta-analysis. *Andrology* [Internet]. 10 de enero de 2024;12(6):1224-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/andr.13583>
16. Zhang X, Wang H, Feng T, Yang J, Huang Q, Lu C, et al. The relationship between semen factors and unexplained recurrent spontaneous abortion. *Clinica Chimica Acta* [Internet]. 20 de agosto de 2020;510:605-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.08.022>
17. Wang N, Gu H, Gao Y, Li X, Yu G, Lv F, et al. Study on Influencing Factors of Semen Quality in Fertile Men. *Frontiers In Physiology* [Internet]. 22 de febrero de 2022;13. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.813591>
18. Sexed semen usage fraught with challenges of genetic nature | *Journalasjt* [Internet]. Disponible en: <https://mail.journalajst.com/sexed-semen-usage-fraught-challenges-genetic-nature>
19. De Lourdes Pérez Chabela M, Zavaletta CL. La ganadería tradicional del norte del estado de Veracruz [Internet]. *Dialnet*. 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7260447>
20. Yotov S, Fasulkov I, Atanasov A, Ivanova B. Main aspects in use of sexed semen in cattle breeding. *Journal Of Intelligent Animal Husbandry* [Internet]. 1 de enero de 2023;2(1):40-51. Disponible en: <https://doi.org/10.15547/joiah.2023.01.004>
21. Verma KVS, Garai S, Maiti S, Meena BS, Bhakat M, Kadian KS. Indian dairy farmers' willingness to pay for sexed semen. *Journal Of Dairy Research* [Internet]. 1 de noviembre de 2020;87(4):406-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/s0022029920001065>
22. Parmar K. A mini review on semen sexing in bovine. *International Journal Of Veterinary Sciences And Animal Husbandry* [Internet]. 1 de enero de 2021;6(1):04-10. Disponible en: <https://doi.org/10.22271/veterinary.2021.v6.i1a.315>
23. Balzani A, Amaral CAVD, Hanlon A. A Perspective on the Use of Sexed Semen to Reduce the Number of Surplus Male Dairy Calves in Ireland: A Pilot Study. *Frontiers In Veterinary Science* [Internet]. 15 de febrero de 2021;7. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.623128>

24. Ms RK, Suthar BN, Nakhashi HC, Chaudhary KF. Constraints Affecting Fertility of Sex Sorted Semen: An Overview. *The Indian Journal Of Animal Reproduction* [Internet]. 1 de enero de 2022;43(1):8-14. Disponible en: <https://doi.org/10.48165/ijar.2022.43.1.2>
25. Ali S, Degefa T, Funga A, Dire M, Mohamed A, Yeshaneh A. Reproductive Biotechnology Tools as a Game Changer for the Dairy Sector: The Case of Sexed Semen and Estrus Synchronization to Produce Seedstock Dairy Heifers. *International Journal Of Animal Science And Technology* [Internet]. 29 de julio de 2024;8(3):30-7. Disponible en: <https://doi.org/10.11648/j.ijast.20240803.11>