

Avances y perspectivas en biotecnologías reproductivas en bovinos: Enfoque en la aspiración folicular, producción in vitro y criopreservación de embriones

Advances and perspectives in reproductive biotechnologies in cattle: Focus on follicular aspiration, in vitro production and cryopreservation of embryos

Vanesa Alexandra Loaiza Fajardo

¹ Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia, Área Ciencias Agropecuarias y Tecnología de los Alimentos, Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia. ORCID <https://orcid.org/0009-0009-3694-8657>

* Autor de correspondencia:

Vanesa Alexandra Loaiza Fajardo, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia, vloaiza@ucundinamarca.edu.co, Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia. Teléfono 3107918314, Correo electrónico vloaizafajardo@gmail.com.

Resumen

Este artículo da a conocer desafíos actuales en las tecnologías reproductivas aplicadas a la ganadería bovina, las biotecnologías como la producción in vitro y la transferencia de embriones son herramientas cruciales para mejorar el rendimiento productivo y la eficiencia de los hatos ganaderos, por medio del cual se logra conservar los recursos genéticos y la optimización de los sistemas productivos.

A su vez la aspiración folicular permite que se recolecten ovocitos de donadoras con un alto valor genético sin que se afecte el bienestar del animal, así mismo la criopreservación de embriones, los hallazgos mostraron que la aspiración folicular guiada por ultrasonografía logro obtener tasas de recuperación de ovocitos hasta del 70% en las razas cebuínas, por medio del cual aumenta la disponibilidad de gametos viables sin comprometer el bienestar animal.

Así mismo la Producción in vitro de embriones (PIV) ha superado la eficiencia comparada con la producción in vivo, ya que permite un control en la etapa de maduración, fecundación y cultivo embrionario. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que las razas Bos Indicus como la Gyr, presentan tasas de clivaje y desarrollo a blastocisto significativamente mayores que las Bos Taurus.

Además, la criopreservación de embriones, particularmente el método de vitrificación ultrarrápida demostró que es más efectiva que la congelación lenta, porque reduce la formación de cristales de hielo intracelulares y mejora la criotolerancia después de la congelación.

Durante del desarrollo del artículo se revisa la evolución de estas tecnologías, el impacto que puede llegar a generar con su implementación a gran escala, resaltando los avances en protocolos de sincronización de celos y el óptimo uso de las técnicas de criopreservación, además se abordan temas como los efectos de diferentes factores, como la raza y la calidad del ovocito, sobre la eficacia de estas biotecnologías. También se hace un énfasis en los desafíos relacionados con la variabilidad en los resultados de fertilización y el desarrollo embrionario.

Palabras clave: Transferencia de embriones bovinos, fertilización in vitro, aspiración folicular, Bos Taurus y Bos Indicus.

Abstract

This article presents current challenges in reproductive technologies applied to cattle farming. Biotechnologies such as in vitro production and embryo transfer are crucial tools for improving the productive performance and efficiency of cattle herds, thereby conserving genetic resources and optimizing production systems.

Follicular aspiration allows for the collection of oocytes from donors with high genetic value without affecting animal welfare. Similarly, regarding embryo cryopreservation, findings showed that ultrasound-guided follicular aspiration achieved oocyte recovery rates of up to 70% in Zebu breeds, increasing the availability of viable gametes without compromising animal welfare.

Furthermore, in vitro embryo production (IVP) has surpassed the efficiency of in vivo production, as it allows for control during the maturation, fertilization, and embryo culture stages. For example, recent studies have shown that *Bos indicus* breeds, such as Gyr, exhibit significantly higher cleavage and blastocyst development rates than *Bos taurus*.

Furthermore, embryo cryopreservation, particularly the ultrarapid vitrification method, has proven more effective than slow freezing because it reduces the formation of intracellular ice crystals and improves cryotolerance after freezing.

This article reviews the evolution of these technologies and the potential impact of their large-scale implementation, highlighting advances in estrus synchronization protocols and the optimal use of cryopreservation techniques. It also addresses the effects of various factors, such as breed and oocyte quality, on the efficacy of these biotechnologies. Emphasis is also placed on the challenges related to variability in fertilization outcomes and embryonic development.

Key words: Bovine embryo transfer, in vitro fertilization, follicular aspiration, *Bos Taurus* and *Bos Indicus*.

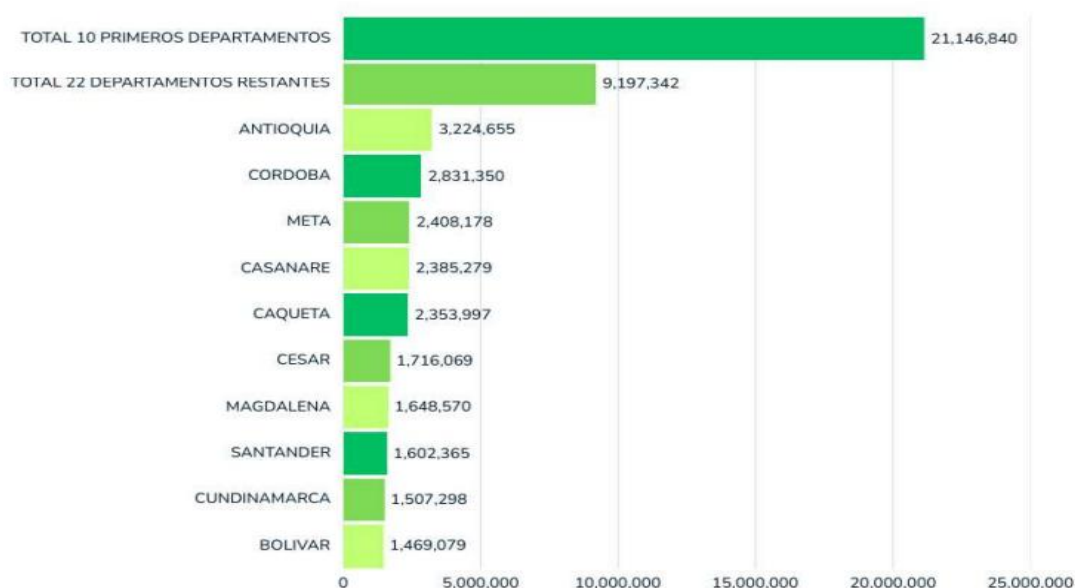
Introducción

La ganadería en Colombia ha desempeñado un papel primordial en la economía rural y la seguridad alimentaria del país. Según el ICA, (2025) la población bovina ha ascendido a 30.344.182 animales los cuales, están distribuidos en 629.592 predios, así mismo representa un incremento del 3,94% en comparación con el año anterior.

Img. 1 Distribución de la población bovina en Colombia



DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE BOVINOS EN COLOMBIA POR DEPARTAMENTO 2025



FUENTE: DIRECCIÓN TÉCNICA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Fuente (ICA, 2025)

Es crucial tener en cuenta esta información para la implementación de estrategias en biotecnología reproductiva, lo cual permite la identificación de regiones con mayor cantidad de ganado, por ende, se resaltan las áreas prioritarias para la implementación de tecnologías como

la aspiración folicular la producción in vitro y criopreservación de embriones, lo que permite la optimización de recursos del sector agropecuario.

Las biotecnologías reproductivas han venido avanzando de manera significativa para la mejora de la eficiencia en la reproducción y genéticas de los sistemas productivos bovinos, entre las técnicas está la producción in vitro de embriones (IVP), las aspiración folicular y la criopreservación de embriones, facilitando la generación de descendencia de alto valor genético, reduciendo costos de producción permitiendo optimizar el desempeño productivo.

La IVP ha emergido en la creación de embriones de alta calidad, facilitando la maduración in vitro, fertilización y cultivo de ovocitos. Este proceso no solo facilita la producción de descendencia de alto valor genético, sino que también permite almacenar embriones durante largos períodos de tiempo, lo que facilita su comercialización.

Según los datos reportados por Viana, (2024) en la Sociedad Internacional de Tecnologías Embrionarias (IETS), se produjeron 642,004 embriones in vitro en América del Sur, registrando como líderes a Argentina, Brasil y Uruguay. Por otra parte, la fecundación in vitro ha demostrado tener un impacto directo en la tasa de gestación, presentando mejores resultados en la implantación y en el desarrollo embrionario lo conlleva a una mayor eficiencia en programas de reproducción.

La aspiración folicular es esencial para la recolección de ovocitos de alta calidad, esta técnica es guiada por ultrasonido, facilita la obtención de ovocitos de hembras donantes sin necesidad de cirugía. Según (Landeo, et al, 2022) en investigaciones realizadas en Colombia la combinación de aspiración folicular con protocolos hormonales adecuados ha mostrado aumento significativo en la cantidad y la calidad de ovocitos recuperados. En razas pertenecientes al Bos indicus como, por ejemplo, la raza Gyr han demostrado que los protocolos hormonales como la gonadotropina coriónica equina (eCG) y el CIDR mejoran significativamente la eficiencia reproductiva y aumenta la tasa de recuperación de ovocitos.

En un estudio realizado en Brasil se reportó una tasa de recuperación de ovocitos aproximadamente del 80% en vacas Bos Indicus utilizando aspiración folicular, la cual se comparará con un 70% en Bos Taurus, esto da como finalidad que las razas Bos Indicus sean adecuadas para la producción de embriones in vitro, aumentando las probabilidades de éxito en programas de inseminación (Narváez, 2020).

Un aspecto fundamental para obtener resultados óptimos en la aplicación de estas tecnologías es la selección adecuada de las receptoras, estas deben cumplir con los 5 pilares de la zootecnia, nutrición, alimentación, mejoramiento genético, bienestar animal y sanidad, se han demostrado en estudios realizados en Colombia y México que la tasa de preñez mejora significativamente, además la sincronización estral es precisa cuando se utiliza protocolos como el CIDR y la eCG lo que optimiza las posibilidades de éxito en la implantación embrionaria (Alvarez, et al, 2023).

El objetivo de esta revisión es, Evaluar los avances científicos y tecnológicos en las biotecnologías reproductivas aplicadas en bovinos, con énfasis en la aspiración folicular, la producción in vitro de embriones, así mismo se contribuye con la mejora de la eficiencia reproductiva y genética en los sistemas de producción bovina en Colombia.

Planteamiento del problema

¿Cuáles son los factores más relevantes que afectan la eficiencia de las biotecnologías reproductivas en bovinos, específicamente en las técnicas aspiración folicular, criopreservación de embriones y producción in vitro de embriones?

En bovinos las biotecnologías reproductivas, que incluyen estas tres técnicas están siendo cada vez más utilizadas para acelerar el progreso genético y mejorar la eficiencia reproductiva de la industria ganadera. Sin embargo, están presentes varios factores en el rendimiento de estas, debido a factores ambientales, técnicos y biológicos que afectan su eficacia.

La aspiración folicular ha jugado un papel muy importante, debido a que la recolección de ovocitos es un prerrequisito para la fertilización in vitro (Alvarez, et al, 2023). Por otra parte, la

eficiencia de la aspiración folicular es influenciada por diferentes factores biológicos, entre ellos se encuentra la genética de la vaca donadora, la calidad de su ovocito y ciclo estral.

Las razas Bos Taurus suelen presentar mejor tasa de recuperación de ovocitos en comparación con Bos Indicus, aunque ellas presentan una mayor resistencia a condiciones ambientales adversas (De Lima, et al, 2021). Además, el momento adecuado de la aspiración debe coincidir con la fase óptima del ciclo estral ya que es crucial para obtener ovocitos de alta calidad (Narváez, et al, 2022).

La técnica de aspiración debe realizarse con todos los protocolos de bioseguridad, debe estar estandarizada, por otra parte, los factores como la presión en la bomba de vacío y la aguja que se utiliza afecta directamente la eficiencia del proceso. Los factores como el estrés térmico impactan de una manera negativa en la eficiencia reproductiva, particularmente en las vacas receptoras lo que tiene como consecuencia una reducción en la tasa de éxito de la transferencia de embriones (Ríos & Marly, 2023).

Para profundizar más en la eficiencia de la aspiración folicular y la producción de embriones in vitro se tienen en cuenta la optimización de varios aspectos. En primera instancia la sincronización del ciclo estral ya que hace parte fundamental en el proceso de los ovocitos recolectados, el uso de protocolos hormonales avanzados, por ejemplo, los que combinan dispositivos intravaginales de progesterona (CIDR-B), junto con la administración de gonadotropinas, son clave para asegurar la sincronización precisa y una alta tasa de recuperación de ovocitos (Medina, et al, 2023).

Según Narváez (2021), la elección adecuada, por ejemplo, el tipo de transductor, la aguja y la bomba de vacío tienen impacto directo en la cantidad y la calidad de los ovocitos recolectados, incluyendo también la frecuencia con la que se realice la aspiración folicular, se debe presentar intervalos adecuados entre aspiración para obtener un mayor aprovechamiento del potencial productivo en las vacas donadoras.

A su vez la producción in vitro de embriones (PIV), es un factor determinante en la calidad de los ovocitos los cuales son recolectados mediante la aspiración folicular. Esta técnica incluye la sincronización del ciclo estral, en este procedimiento se implementa protocolos hormonales avanzados, como la administración de gonadotropinas y los dispositivos intravaginales, así mismo, el tipo del medio de cultivo es un factor determinante en el proceso de fecundación in vitro y desarrollo embrionario (Currin, et al, 2021).

Aunque se presentan avances en la optimización de estos protocolos, para Currin, (2021) el PIV sigue siendo limitado, partiendo de animales prepuberales, ya que la competencia de los ovocitos recolectados es menor puesto que su eje hipotalámico hipofisario ovárico presenta inmadurez lo cual conlleva a un deficiente microambiente folicular.

En cuanto a la criopreservación de embriones, se encarga de conservar los embriones a largo plazo para su transferencia, a pesar de esto la crio tolerancia es un factor de gran relevancia puesto que los embriones criopreservados muestran una menor tasa de desarrollo y supervivencia después de la congelación, comparado con los embriones obtenidos in vivo (Rosete, et al, 2021)

En la criopreservación se tiene en cuenta ciertos factores, por ejemplo, la composición del medio criopreservante, el tipo de crioprotector utilizado, tasas de calentamiento y enfriamiento, la especie de donde proviene y el tamaño de embrión, todos estos factores tienen gran relevancia en la eficacia de la criopreservación (Negrón, et al, 2025).

Según estudios realizados por Ríos & Marly (2023) demostraron que la suplementación en el medio de cultivo incluyendo factores de crecimiento, como la FGF2, LIF e IGF1, han mejorado la viabilidad y la criotolerancia de los embriones. A su vez estos moduladores actúan para que se mejore la maduración citoplasmática ya que con esto se reduce el estrés oxidativo, lo cual tiene como finalidad contribuir a la supervivencia post-descongelación.

De este modo los avances en la aspiración folicular, las mejoras en los protocolos de producción in vitro y la optimización de las técnicas de criopreservación, han sido esenciales para aumentar

la eficiencia de las biotecnologías reproductivas bovinas, es importante tener conocimiento sobre los factores biológicos, los protocolos hormonales, la manipulación ambiental y la genética.

Rosete, et al, (2021) menciona que todos estos factores deben ser integrados de tal manera que se logren tasas más altas de recuperación de ovocitos viables, desarrollo embrionario, fertilización y por supuesto la criotolerancia. Además, el bienestar animal y la mitigación del estrés durante el procedimiento es fundamental para asegurar que las vacas donadoras no sufran ningún daño físico u hormonal ya que esto tendría un impacto directo en la calidad de los ovocitos (Medina, et al, 2023).

Justificación

Especialmente las técnicas de transferencias de embriones (TE), la aspiración folicular y la criopreservación, ha permitido que se presenten avances significativos en todo el proceso de mejoramiento genético, que va de la mano con la productividad del sector ganadero, ha ido transformando la mejora genética con la posibilidad de ofrecer nuevas estrategias para maximizar el rendimiento productivo de los animales.

En el caso particular de la transferencia de embriones se busca el aumento del número de animales con características deseables, esta biotecnología permite el uso adecuado de una hembra con un alto valor genético, ya que los embriones pueden ser transmitidos a unas receptoras de menor valor económico, a través de esta técnica se optimiza el uso del ganado elite sin necesidad de que las vacas entren en gestación.

En el 2020 fueron transferidos más de 1.6 millones de embriones in vitro (IVP) de nivel mundial. Liderado por Suramérica que presentó un registro de 500,000 embriones transferidos anualmente (Rosete, et al, 2021). La implementación de protocolos hormonales ha permitido la superovulación en las donadoras lo cual da como resultado la obtención de un mayor número de óvulos, sin embargo se debe tener en cuenta que el exceso o la falta de hormonas puede afectar negativamente la calidad de los embriones.

En el estudio de (Narváez, 2020) se registró que las vacas de la raza Gyr presentan una mejor tasa de recuperación de ovocitos y mayor número de embriones viables en las vacas Holstein. El promedio de recuperación estuvo entre 7.9 ± 0.7 ovocitos por vaca presentando así una tasa de recuperación de $64.9 \pm 0.5\%$, lo cual indica que el éxito de la técnica está relacionado con la genética de las donadoras y del protocolo hormonal.

Por otro lado, la criopreservación de embriones permite que el productor conserve material genético de alto valor durante varios años. Para el 2020 se criopreservaron más de 360,000 embriones en Sudamérica, con el 40% transferidos posterior a la criopreservación (Estudillo, et al, 2021). Además, se presenta la vitrificación, que es caracterizada por el enfriamiento ultrarrápido, la utilización de crioprotectores que demuestra ser más efectiva que la congelación lenta, reduciendo la capacidad de formación de cristales de hielo dentro de los embriones ya que esto podría dañarlos, la vitrificación mostró una tasa de reexpansión de embriones del 60.61%, en comparación con solo 36.84% en los embriones congelados lentamente (Morales, et al, 2024). La (eCG) tiene un papel esencial en la eficiencia los programas de transferencias de embriones en el estudio de (Medina, et al, 2023) en vacas Bos Taurus y Bos Indicus se evidenció que la gonadotropina coriónica equina no tuvo un efecto significativo en la calidad de los ovocitos ni en la tasa de blastocitos, pero si presento influencia en el número de ovocitos que fueron recuperados. Se ha observado que las razas Bos Indicus tomando como base las cebuínas tienen una mejor respuesta en la superovulación y una mayor tasa embrionaria in vitro en comparación con las Bos Taurus que suelen ser más sensibles a las posibles variaciones hormonales (De Lima, et al, 2021).

Todos estos avances en la biotecnología no solo han buscado fortalecer y mejorar la producción bovina, sino que también el mejoramiento genético del ganado a nivel mundial, permitiendo la descendencia de genes de alta calidad, a través de estas tecnologías se facilita la expansión de características deseadas.

METODOLOGIA

Se realizó una búsqueda en bases de datos académicas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, con la finalidad de recopilar artículos relacionados con la diferentes biotecnologías en reproducción bovina haciendo énfasis en aspiración folicular, producción In vitro de embriones y criopreservación.

Se realizó la inclusión de estudios que abordaron de manera directa en la aspiración folicular, la producción de embriones in vitro y la criopreservación de embriones, en un periodo comprendido entre 2020-2025. Estos estudios debían proporcionar información sobre diferentes protocolos hormonales, tasas de recuperación de ovocitos, fertilización in vitro y tasas de gestación posterior a la transferencia de embriones, con apoyo de investigaciones sobre diferentes técnicas de criopreservación, basándose en la vitrificación o congelación lenta.

Además, se realizaron una bitácoras de recolección de la información para comprender mejor los artículos y así de esta manera obtener información relevante para el desarrollo de la investigación ya que estas bitácoras se sintetizaba la información identificando el estado del arte, la metodología, marco teórico, componente experimental y resultados de cada artículo, ya que esta estrategia fue fundamental para la construcción y desarrollo de este proyecto de investigación.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las biotecnologías reproductivas en bovinos con Enfoque en la Optimización de la Aspiración Folicular y Criopreservación

Objetivos específicos

1. Caracterizar la evolución y fundamentos técnicos de la aspiración folicular en bovinos.
2. Comparar los factores que afectan el rendimiento de la producción in vitro de embriones (PIV) en Bos Indicus y Bos Taurus.
3. Analizar los efectos de la criopreservación sobre la viabilidad de ovocitos y embriones, y su impacto en la tasa de preñez.

ESTADO DEL ARTE

A raíz de los avances presentes en las biotecnologías reproductivas las cuales son aplicadas en el ganado, estas técnicas han facilitado, la conservación del germoplasma valioso con el fin de aumentar la productividad reproductiva por hembra de donadora en sistemas de carne y leche.

Los avances en la mejora genética han fomentado la optimización de recursos genéticos y la conservación de estos, no obstante, se tiene en cuenta que se puede llegar a presentar desafíos relacionados con su implementación por ejemplo los costos e infraestructura, la investigación continúa siendo esencial para superar estas barreras y seguir impulsando la productividad en la ganadería bovina.

Estas biotecnologías han permitido que regiones tropicales en especial Suramérica, se catalogue como uno de los líderes mundiales en la aplicación de estas técnicas, reportando miles de embriones producidos y transferidos por año, lo cual ha superado esquemas tradicionales de superovulación.

Por lo tanto, Rosete, et al, (2021) planteó que el modelo reproductivo ya no es solo natural-fisiológico, sino que pasa a ser un modelo bioindustrial, lo que quiere decir que una hembra elite deja de parir y dejar su descendencia genética cada 12-14 meses, y pasa a ser una fuente valiosa de ovocitos, porque desde el punto de vista zootécnico no solo se tiene en cuenta la ganancia de peso y litros de leche producidos, ahora se tiene en cuenta también genética y cuantos embriones puede producir en un determinado tiempo.

1. Aspiración folicular: avances en la recolección de ovocitos.

Gracias a los avances presentes en las biotecnologías reproductivas las cuales son aplicadas en el ganado En sus primeras aplicaciones en el año de 1980, la aspiración folicular ha presentado cambios significativos en cuanto a la precisión y menor invasión en el proceso.

Para (Alvarez, et al, 2023) con la aplicabilidad de la ultrasonografía, sistemas de aspiración

más sofisticados, la recolección de ovocitos de donantes con alto valor genético, se ha convertido en un procedimiento más eficiente y menos invasivo.

Las aspiraciones foliculares es una técnica fundamental para la producción in vitro de embriones ya que ha permitido la recolección de ovocitos sin necesidad de sacrificar las vacas, según (Alvarez, et al, 2023) a través de la ultrasonografía de alta resolución ha proporcionado la localización de folículos pequeños, la cual da como resultado una recolección de más ovocitos que son viables.

Respaldo por un estudio realizado por (Narváez, 2021) sobre las vacas criollas pertenecientes a la raza chino santanderiano, en la cual utilizaron la ultrasonografía y reportaron un número promedio de ovocitos recolectados por vaca estuvo en 7.9 ± 0.7 teniendo en cuenta una tasa de recuperación del $64.9 \pm 0.5\%$.

Figura 1 Desempeño de la técnica de aspiración folicular en vacas

Variables	Chino Santandereano (n = 15)
Nº réplicas	5
Nº folículos visualizados	12.1 ± 0.5
Nº ovocitos recuperados	7.9 ± 0.7
Tasa de recuperación (%)	64.9 ± 0.5
Ovocitos grado I (%)	$7.7^c \pm 0.4$
Ovocitos grado II (%)	$19.8^b \pm 0.5$
Ovocitos grado III (%)	$36.8^a \pm 0.5$
Tasa de ovocitos viables (%)	64.3 ± 0.6
Tasa de ovocitos no viables (%)	35.7 ± 0.7

Los datos están descritos como media \pm DE. ^{a,b} Letras minúsculas distintas, en la misma columna, difieren entre sí ($P < 0.05$).

Adaptado: (Narváez, 2021)

2. Producción In Vitro de Embriones: Optimización de Protocolos y Medios de Cultivo

En la IVP los ovocitos son recolectado por medio de la aspiración folicular para ser fertilizados en el laboratorio, a lo largo del tiempo la optimización en todos los protocolos de maduración permite que se presente una mayor tasa de producción de embriones viables. Por otra parte, la técnica permite trabajar con semen sexado incluyendo a animales con alto valor genético sin presentar afectaciones a la salud de estos (Kmaid, 2023).

Gallego, et al, en (2022) en un estudio realizado reportaron que la IVP ha superado la producción in vivo de embriones en cuanto a producción total, especialmente en las razas carnicas. También señalaron que en el estudio la IVP aumenta la genética reproductiva al generar mas embriones con una calidad superior.

Por otra parte, (Narvález, 2020) en su investigación sobre las vacas Gyr y Holstein indicaron que las vacas Gyr tiene una mayor tasas de clivaje y producción de blastocitos entrando en comparación con las vacas Holstein.

Figura 2 Efecto del grupo genético de acuerdo con la aplicación de la técnica de aspiración folicular y producción in vitro de embriones en vacas de la razas Gyr y Holstein.

Variables	Vacas Gyr (n = 6)	Vacas Holstein (n = 6)	Valor de p
N.º réplicas	6	6	-
N.º folículos visualizados	21,1 ^a ± 0,7	15,7 ^b ± 0,6	0,0002
N.º ovocitos recuperados	12,7 ^a ± 1,1	8,2 ^b ± 0,7	0,0013
Tasa de recuperación (%)	60,1 ± 5,0	52,2 ± 4,4	0,28
Ovocitos grado I (%)	20,3 ± 0,4	22,6 ± 0,3	0,45
Ovocitos grado II (%)	27,2 ± 0,3	23,0 ± 0,3	0,19
Ovocitos grado III (%)	24,6 ± 0,4	19,9 ± 0,3	0,13
Tasa de ovocitos viables (%)	70,8 ± 3,6	67,0 ± 3,7	0,86
Tasa de clivaje (%)	81,8 ^a ± 3,5	68,7 ^b ± 4,5	0,02
N.º blastocistos día 7 (D7)	3,6 ^a ± 0,5	2,1 ^b ± 0,4	0,03
Tasa de blastocisto (%)	40,2 ± 4,7	32,4 ± 5,5	0,28

Adaptado (Narvález, 2020)

Se logra entender que la PIV ha convertido algo que era costoso y de difícil acceso en algo rutinario, debido a que un productor antes tenía que esperar alrededor de 4-6 partos para fijar

su genética, hoy en día puede realizar esto mientras que la vaca sigue en producción o incluso si ella ya no puede gestar.

Además, en cuanto a la eficiencia embrionaria in vitro y la respuesta ovárica, las razas cebuínas logran reportar una diferencia estadística lo cual deja como aporte que se debe utilizar el potencial productivo de estas razas junto con el apoyo de las razas criollas.

Tabla 1 *Bos Taurus vs Bos Indicus*

Parámetro	Gyr Bos Indicus	Holstein Bos Taurus	Análisis
Folículos visualizados por sesión OPU	21,1 ± 0,7	15,7 ± 0,6	Se presenta una diferencia significativa a favor del Gyr (p=0,0002)
Ovocitos viables recuperados	Alta	Menor	Da como resultados mayor población folicular y mejor calidad de ovocitos
Tasa de clivaje (Post-FIV)	Superior	Inferior	La mayor tasa de clivaje se observa en el Gyr
Blastocitos día 7	3,6 ± 0,5	2,1 ± 0,4	Se observa una ventaja clara de la producción de blastocitos en la raza Gyr

Adaptado (De Lima, et al, 2021)

3. Criopreservación: conservación y transporte del material genético

Con el avance de las investigaciones aparece esta técnica que permite la transferencias de genes deseables en diferentes zonas geográficas del país. También ha permitido la mantener la diversidad genética de las poblaciones con transferencias de genes de alto valor en condiciones controladas sin presentar riesgo por enfermedades placentarias (Morales, et al, 2024).

Una tecnica como la vitrificación ha permitido una tasa de viabilidad óptima de los embriones que son criopreservados comparado con la congelacion lenta, debido a que causa formacion de cristales de hielo los cuales dañan los embriones (Garcia, 2020).

En el estudio de Morales, et al, (2024) reportaron que la vitrificación dio como resultado una mejor criotolerancia, evidenciando tasas de desarrollo embrionario superiores al 60,61%, por su parte, la congelación lenta solo apporto el 36,84% de criotolerancia. para Stoecklein, et al, (2021) por años tenían el concepto de que el embrion invitro era mas senible al congelamiento que el embrion in vivo, por lo tanto, con medios otimizadoss y la vitrificacion, los embriones llegan a sobrevivir por ende matienen su calidad comercial. Y desde el punto de vista economico se podria decir, que esto nes como fraccionar la genetrica elite en unidades comerciales mas pequeñas.

Tabla 2 Efecto del método de criopreservación y de la bipartición en embriones PIV bovinos

Tipo de embrión	Estado	Método	Viabilidad / Reexpansión post	% Calidad 1
Embriones enteros	Fresco	Sin criopreservación	93% viables	Muy alta
Embriones enteros	Criopreservado	Congelación lenta	60% viables (↓ vs fresco)	72.2%
Embriones enteros	Criopreservado	Vitrificación	↑ Supervivencia	95.4%
Hemi-embriones (bipartidos)	Criopreservado	Congelación lenta	38.3% viables	Inferior
Hemi-embriones (bipartidos)	Criopreservado	Vitrificación	58.3% viables (↑ vs lenta)	Aceptable

Fuente (Stoecklein, et al, 2021)

4. Comparación entre técnicas

Las biotecnologías reproductivas han avanzado tanto que revolucionaron sus programas de mejoramiento genético y a su vez la productividad de los hatos, por lo que permite una mayor precisión en los procesos fisiológicos reproductivos, estas tres técnicas han sido las más relevantes ya que cuenta con ventajas zootécnicas, algunas limitaciones y fundamentos técnicos (Kmaid, 2023).

En la siguiente tabla se puede resaltar aún mejor las características de cada una, respaldadas de resultados científicos que resaltan el impacto que tienen en la reproducción y a su paso en el mejoramiento genético.

Figura 3 comparación entre técnicas

Técnica	Qué es o cómo se hace	Ventajas	Desventajas o limitaciones	Resultados comparados de investigaciones
Aspiración folicular (OPU)	Recuperación transvaginal la cual es guiada por ultrasonido de ovocitos de folículos antrales (2–8 mm). Puede hacerse 1–2 veces/semana.	Multiplica donadoras, permite capturar valor genético rápidamente y alimentar programas PIV.	Requiere bioseguridad y precisión técnica; depende del operador y raza.	En vacas criollas Chino Santandereano: 12.1 folículos/vaca/OPU; 64.9% ovocitos recuperados, 64.3% viables.
Producción in vitro de embriones (PIV: MIV–FIV–CIV)	Tras OPU, los CCOs se maduran (MIV), fecundan (FIV) y cultivan (CIV) hasta blastocisto (día 7–8).	Acelera el progreso genético, permite usar semen sexado y selección genómica.	Tasa blastocisto relativamente baja; depende de la calidad ovocitaria.	Bos indicus produce más blastocistos día 7 que Bos taurus; Indicus más eficiente en PIV.
Criopreservación por vitrificación	Uso de altas concentraciones de crioprotectores y altas tasas de enfriamiento/calentamiento para evitar cristalización.	Mayor supervivencia post-descongelación, menor daño celular.	Alta sensibilidad a la toxicidad osmótica y tiempos de exposición.	Vitrificación supera congelación lenta; aumenta crías nacidas y blastocistos viables.
Criopreservación por congelación lenta	Es un descenso controlado de temperatura con crioprotectores más bajos, formando hielo extracelular controlado.	Equipamiento accesible y protocolos estandarizados globalmente.	Menor supervivencia y eclosión que vitrificación; daño morfofuncional frecuente.	Congelación lenta genera menor tasa de preñez; necesita optimización.

Adaptado de (Rosete, y otros, 2021)

5. Características morfológicas y fisiológicas

Aspiración folicular (OPU)

En cuanto a la OPU en bovinos esta ha permitido una recolección de oocitos de folículos que se encuentran en un estado preovulatorio los cuales posteriormente se pueden madurar in vitro, además, otro factor importante es la expansión de células cúmulos (CC), ya que esta es esencial para el oocito y contribuye a su desarrollo embrionario, ya que proporcionan nutrición y soporte al oocito y la expansión de este llega a ser un indicador de calidad (De Lima, et al, 2021).

Fertilización y maduración

La (IVF) requiere los oocitos que hayan completado una maduración nuclear, esta fertilización es facilitada por medio de la inseminación con un semen de alta calidad la cual puede ser asistida por medio de técnicas una de ellas la ICSI (Morales, et al, 2024). A su vez Estudillo, et al, (2021) es su estudio dice que la maduración del oocito está directamente relacionado con los factores hormonales, allí se tiene en cuenta los niveles de LH y FSH y el medio de cultivo utilizado.

Clivaje embrionario

Una vez que se da el proceso de fertilización, el oocito da lugar a la formación del embrión este pasa posteriormente por una serie de procesos de división celular la cual es conocida como el clivaje embrionario (Currin, et al, 2021). Han logrado comprobar que los embriones de las razas Bos Indicus como la Gyr presentan mejores tasas de clivaje y desarrollo de blastocistos comparado con la Bos Taurus, lo cual esto llega a presentar una incidencia en la FIV.

6. Factores de Éxito en la Transferencia de Embriones

Según Inga, et al, (2022) el éxito en la transferencia de embriones, ya sea embrión fresco o criopreservado está estrechamente relacionado con diferentes factores que van de la mano con el material genético, se debe tener en cuenta la sincronización del ciclo estral para garantizar que se lleve a cabo una implantación exitosa del embrión.

Además, estas receptoras deben estar en condiciones óptimas para recibir los embriones y llevar una adecuada gestación. Ríos & Marly, (2023) indicaron que la nutrición adecuada y la condición corporal son fundamentales para la mejora en las tasas de preñez en la transferencia embrionaria. Realizan aportes sobre el uso de sincronización de celos aplicando CIDR-B y Ecg ya que esta llega a mejorar la efectividad de la transferencia.

Inga, et al, (2022) resalta que el éxito reproductivo de los programas de transferencia de embriones se encuentra en la sincronización precisa del ciclo estral y un proceso adecuado de receptoras. complementado con Stoecklein, et al, (2021) que han mostrado que las tasas de preñez son mayores cuando los embriones frescos se producen in vivo IVD, que cuando son transferidos IVP.

7. Implicaciones tecnológicas

Medios de colecta y maduración

Es importante tener en cuenta el medio de colecta ya que este deberá proporcionar el entorno adecuado para que se mantenga la viabilidad del oocito durante su fase de recolección, uno de los medios más utilizados, son aquellos que se encuentran basados en soluciones salinas los cuales contienen glucosa, albumina y antibióticos, ya que estos se encargan de prevenir infecciones (Estudillo, et al, 2021).

En este caso Currin, et al, (2021) resalta que la variabilidad genética entre las razas influye directamente en los resultados de la aspiración folicular, por otra parte, que los medios más completos mejoran las tasas de recuperación de ovocitos hasta en un 70% especialmente en las razas cebuínas.

Medios de maduración In vitro (MIV)

Después de la recolección de los oocitos pasan por un proceso de maduración en el laboratorio antes de ser fertilizados, para Morales, et al, (2024) el medio de maduración influye directamente en la calidad del oocito y su capacidad para ser fecundado. Los más usados con los que utilizan

soluciones con contenido de LH, FSH, calcio y sodio bicarbonato los cuales son necesarios en la inducción de la maduración nuclear y citoplasmática del oocito.

Medios de criopreservación

Este procedimiento es crucial para la viabilidad de los embriones en el proceso de post-descongelación. Se conoce que existen dos métodos principales en la criopreservación de embriones bovinos, la congelación lenta y la vitrificación ultrarrápida, a pesar de que son métodos diferentes comparten algo en común y es la utilización de crioprotectores como el glicerol y etilenglicol, pero la concentración y el tiempo de exposición varían de acuerdo al protocolo utilizado (Estudillo, et al, 2021).

Congelación lenta

Este es un proceso gradual de enriamiento que utiliza temperaturas extremadamente bajas, por medio del cual los embriones son deshidratados bajo control para evitar la formación de cristales de hielo. Según Morales, et al, (2024) es su investigación el procedimiento de congelación lenta es más efectiva en para los embriones en razas provenientes del Bos Taurus a pesar de que presenta una menor tasa de viabilidad comparada con la vitrificación cuando se implementan embriones de Bos Indicus.

Vitrificación

Es un proceso de congelación ultrarrápida ya que evita la formación de cristales de hielo, por medio del cual se mejora la viabilidad de embriones. Se requiere de una exposición mas breve ante los crioprotectores de alta concentración y un enfriamiento rápido lo cual mitiga el riesgo de daño celular (Morales, et al, 2024).

Tabla 3 Comparación de Métodos

Método de Criopreservación	Ventajas	Desventajas	Razas más efectivas
Congelación Lenta	Bajo costo, más accesible	Menor tasa de viabilidad post-descongelación	Bos Taurus , principalmente Holstein y Senepol
Vitrificación	Alta tasa de viabilidad post-descongelación, mejor criotolerancia	Requiere equipos sofisticados y mayor inversión	Bos Indicus , como Nelore y Gyr

Adaptado de (Morales, et al, 2024)

8. Optimización de la superovulación en donadoras

La superovulación ha presentado cierta declinación en su uso siendo comparada con la aspiración folicular y la IVP. Sin embargo, Rosete, et al, (2021) reportaron que sigue siendo crucial en programas de mejoramiento genético debido a que permite una mayor obtención de embriones por donadora, aunque esta técnica sigue siendo importante, su uso se presenta con menor frecuencia. Sin embargo, puede llegar a variar la respuesta de la superovulación según el tipo de protocolo y la vaca.

Analizando Narváez, (2020) destacó que la superovulación combinada con aspiración folicular bajo protocolo hormonal adaptado a la raza y condición fisiológica de la vaca presentan mejores resultados reproductivos. Así como Medina, et al, (2023) años después en su investigación sobre la eCG, reportó que la respuesta en la superovulación, no logró mostrar efectos sobre la producción de embriones, ni en las tasas de blastocitos en vacas *Bos taurus* y *Bos indicus*.

9. Mejoramiento Genético con la Integración de Biotecnologías Reproductivas

A medida que se presentan avances en los programas de mejora genética se han apoyado con las biotecnologías reproductivas para lograr la propagación de genes de alto valor, estos programas logran aumentar la eficiencia reproductiva de los animales ya que reduce el intervalo generacional, que a su vez contribuye en el incremento de la tasa de crías por hembra (Inga, et al, 2022).

En esta integración de biotecnologías reproductivas (Rosete, et al, 2021) resaltan que la combinación de IVP, selección genómica, permiten que se presente avances significativos en el mejoramiento genético, también destacan a América del Sur como uno de los líderes en producción in vitro con fines genéticos.

Comparado con el estudio de (Gallego, et al, 2022) también reportaron resultados viables en el mejoramiento genético, ya que se ha acelerado gracias a la producción masiva de embriones in vitro combinado con el uso de semen de alta calidad, lo cual permite que se incremente la productividad y el rendimiento del ganado de carne y leche. Cabe resaltar que en sur América han reportado una transferencia anual de embriones PIV que sufre alrededor del medio millón de unidades aparte de una creciente de los embriones por la criopreservación antes de la transferencia.

10. Técnicas de diagnóstico temprano en la gestación

Estas técnicas han mejorado significativamente gracias a estrategias como la ecografía y análisis de sangre para detección de preñeces por biomarcadores, la implementación de la ecografía ayuda a detectar gestaciones alrededor de los 30-40 días de preñez, lo que contribuye a una evaluación temprana y precisa de las vacas receptoras.

(Narváez, et al, 2022) destacan el uso de ecografía tranrectal y la medición de hormonas de preñez como la progesterona, son claves para identificar gestaciones en los primeros días después de la transferencia de embriones. A su vez (Estudillo, et al, 2021) reportó que el diagnóstico bajo ecografía realizado a los 30 días post- transferencia permite mejorar la tasa de identificación de gestaciones exitosas.

Es importante tener estos factores en cuenta ya que una finca que domine diagnósticos de gestación temprana, protocolos de sincronización inteligentes va a reducir los días abiertos, aumenta el porcentaje de natalidad, lo que conlleva a tener una eficiencia reproductiva óptima.

11. Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de los avances en las biotecnologías reproductivas aún se presentan desafíos por tal razón las investigaciones actuales se centran en la mejora de técnicas de criopreservación, la optimización de protocolos hormonales y el uso de tecnologías como la edición genética para crear ganado con características deseables de manera más eficiente y representan un papel cada vez más importante en la producción ganadera, permitiendo un avance significativo en la productividad y rentabilidad (Alvarez, et al, 2023).

García, (2020) menciona que los desafíos de la criopreservación siguen siendo altos debido a las alteraciones moleculares y a la toxicidad de algunos crioprotectores, pero Kmaid, (2023) anticipa que en un futuro la biotecnología reproductiva en bovinos estará marcada por la edición genética, para mejorar la eficiencia reproductiva de los animales.

12. Limitaciones técnicas y económicas

La implementación de estas biotecnologías reproductivas en Colombia puede llegar a presentar diferentes barreras técnicas. En primera instancia, la variabilidad genética entre razas *Bos Indicus* y *Bos Taurus* influye significativamente en los resultados de FIV y la producción de embriones.

A su vez, la eficiencia de la aspiración folicular presenta variaciones entre razas debido a que los *Bos Indicus* han demostrado que presentan una mayor tasa de recuperación de ovocitos permitiendo que se aumente la disponibilidad de gametos viables sin que se comprometa el bienestar del animal (De Lima, et al, 2021). Pero llega a ser una limitante debido a que algunos ganaderos no

cuentan con las condiciones ideales para adoptar estas tecnologías y realizar estos procedimientos.

Limitaciones económicas

El costo de la criopreservación y la transferencia de embriones económicamente presenta una barrera importante ya que los equipos necesarios para la aspiración folicular guiada por ultrasonografía y vitrificación son costosos, lo cual incrementa gastos operativos (Narváez, 2020).

Para Morales, et al, (2024) se ve reflejado en el costo de la FIV, por medio del cual se comprara con métodos tradicionales, como la inseminación artificial. Por otra parte, los protocolos hormonales para estimular la ovulación y recolección requieren de técnicos costosos e insumos costosos.

CONCLUSIONES

La aplicación de estas biotecnologías reproductivas, representan un avance determinante en la etapa reproductiva de los animales, ya que permite la multiplicación de animales que se destacan por un alto valor genético, a través de un control técnico presentando a su vez menor costo en la producción.

La aspiración folicular que esta guiada por ultrasonido es catalogada como una de las técnicas más eficientes y una de las más seguras en cuanto a la obtención de ovocitos viables, que cuando se combinan con protocolos hormonales y sincronización de celos aumenta la probabilidad de efectividad tomando como bases unas condiciones óptimas para realizar el procedimiento.

La criopreservación mediante la vitrificación en la actualidad ha facilitado el transporte y la conservación de todo el material genético, ya que amplía las posibilidades de que aumenten los programas reproductivos con la finalidad de llevar la genética a gran escala. Esto va de la mano con la PIV que contribuye también en la eficiencia reproductiva, aunque se presentan ciertos desafíos estas técnicas han tenido un crecimiento exponencial en los últimos años.

A través de la investigación los resultados evidenciados reflejan que la eficiencia de estas biotecnologías depende directamente de la integración de ciertos pilares, como lo es la nutrición, ambiente, el bienestar animal y la genética. Cabe resaltar que Colombia ha venido presentando un gran potencial en la aplicación y expansión de estas biotecnologías, ya que se puede llegar a impulsar como una estrategia nacional para el crecimiento del sector agropecuario.

En los programas de transferencia de embriones para procurar tasas de preñez elevadas es crucial seleccionar receptoras adecuadas basándose en su estado fisiológico, edad, estado corporal y la sincronización del ciclo estral. Además, los pequeños productores pueden beneficiarse de la implementación de biotecnologías reproductivas a través de capacitación, apoyo gubernamental y las alianzas estratégicas.

Se debe implementar estas tecnologías de manera escalonada, con el apoyo adecuado se puede mejorar la productividad ganadera y de esta manera se facilite el acceso a herramientas reproductivas avanzadas, logrando que los pequeños sean más competitivos en el mercado.

AGRADECIMIENTOS

De ante mano expreso un profundo agradecimiento a Dios por la vida, a la universidad de Cundinamarca, a su Facultad de Ciencias Agropecuarias y especialmente al programa de Zootecnia, por la formación académica y el acompañamiento científico para el desarrollo de este trabajo.

Del mismo modo se expresa un profundo agradecimiento a mi directora de trabajo la docente Karen Montoya por su asesoría técnica y orientación, al Docente Felipe Ramírez por su apoyo y compromiso, así como a las instituciones investigativas y bases de datos que contribuyeron y aportaron información actualizada para la elaboración de este artículo.

Para finalizar quiero hacer un reconocimiento especial a mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida, cuyo apoyo y compromiso fueron de gran importancia para mi formación personal y profesional.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran algún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Alvarez, G. H., Urbán, D. D., Estrada, C. E., Villaseñor, G. F., & Velázquez, R. A. (12 de Diciembre de 2023). *Evolución de la aspiración folicular para producción in vitro de embriones enrumiantes*. Obtenido de Abanico Veterinario: <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/article/view/161/325>
- Britos, C., Acosta, J., Roman, R., Giménez, F., & Domínguez, R. (2020). *Manual de transferencia de embriones*. Obtenido de CONACYT: https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u454/Manual_de_transferencia_de_embryones.pdf
- Currin, L., Baldassarre, H., & Bordignon, V. (1 de Agosto de 2021). *In Vitro Production of Embryos from Prepubertal Holstein Cattle and Mediterranean Water Buffalo: Problems, Progress and potential*. Obtenido de *Animals* , 11, 2275.: <https://doi.org/10.3390/ani11082275>
- De Lima, G., Gaitkoski, D., De Almedia, A., Tsunokawa, M., Mello, M., Blaschi, W., & Rigo, T. (26 de Junio de 2021). *Comparison between in vitro embryo production in Bos indicus and Bos taurus cows* . Obtenido de *Research, Society and Development*: https://www.researchgate.net/publication/352773256_Comparison_between_in_vitro_embryo_production_in_Bos_indicus_and_Bos_taurus_cows
- Estudillo, E., Jimenez, A., Bustamante, P., Placios, C., Velasco, I., & López, A. (8 de Octubre de 2021). *Cryopreservation of Gametes and Embryos and Their Molecular Changes*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/19/10864>
- Gallego, F., Mancheno, A., Mena, L., & Murillo, A. (14 de Junio de 2022). *Bovine in vitro Embryo Production: State of the Art* . Obtenido de *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 2(1), 172–185.: <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11192>
- García, I. (Septiembre de 2020). *Efecto de la bipartición y del método de criopreservación en el desarrollo de embriones bovinos producidos in vitro*. Obtenido de Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Región Veracruz: <http://cdigital.uv.mx/handle/1944/50910>
- ICA. (2025). *ICA*. Obtenido de ICA CENSO PECUARIO: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018?utm_source
- Inga, R., Murga, N., & Cayo, I. (Marzo de 2022). *Tasa de preñez en vacas receptoras brown swiss cruzadas, transferidas con embriones frescos y congelados*. Obtenido de *Revista Científica UNTRM Ciencias Naturales e Ingeniería* 4(3):36: https://www.researchgate.net/publication/359111797_Tasa_de_preñez_en_vacas_receptoras_brown_swiss_cruzadas_transferidas_con_embryones_frescos_y_congelados
- Kiran, G., & Williams, M. L. (8 de Marzo de 2018). *linkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/definici%C3%B3n-de-business-process-management-bpm-valencia-angarita>
- Kmaid, S. (9 de Junio de 2023). *Producción y Transferencia de Embriones en bovinos: viejos y nuevos desafíos para una herramienta clave en los programas reproductivos* . Obtenido de *Disertantes simposio de reproducción animal* : https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/3285/JB2023_139-147.pdf?sequence=1

- Lammoglia, M., De la Cruz, C., Sánchez, S., & Avalos, I. (Diciembre de 2023). *Desempeño reproductivo de hembras bovinas utilizadas únicamente como receptoras en un programa de transferencia de embriones en el trópico cálido-subhúmedo*. Obtenido de Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan 11(2):59-68:
https://www.researchgate.net/publication/377225423_Desempeno_reproductivo_de_hembras_bovinas_utilizadas_unicamente_como_receptoras_en_un_programa_de_transferencia_de_embriones_en_el_tropico_calido-subhumedo
- Landeo, L., Zuñiga, M., Gastelu, Artica, M., Ruiz, J., Silva, M., & Ratto, M. H. (25 de Abril de 2022). *Oocyte Quality, In Vitro Fertilization and Embryo Development of Alpaca Oocytes Collected by Ultrasound-Guided Follicular Aspiration or from Slaughterhouse Ovaries*. Obtenido de PubMed:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35565530/>
- MachinePoint. (1 de Enero de 2024). *MachinePoint* . Obtenido de <https://blog.machinepoint.com/leche-procesamiento-y-maquinaria/>
- Medina, L., Gutiérrez, F., Trejo, F., & Espinoza, A. (Junio de 2023). *Efecto de eCG sobre el desarrollo folicular y producción de embriones in vitro en bovinos de razas de carne, en trópico seco*. Obtenido de researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/372362546_Efecto_de_eCG_sobre_el_desarrollo_folicular_y_produccion_de_embryones_in_vitro_en_bovinos_de_razas_de_carne_en_tropico_seco
- Morales, L., Rosendo, A., Becerril, C., & José, M. (30 de Diciembre de 2024). *in vitro: desarrollo de embriones de ganado lechero tropical criopreservados mediante vitrificación o congelación lenta*. Obtenido de Revista Biológico Agropecuario Tuxpan :
<http://www.revistabiologicoagropecuario.mx>
- Narváez, H. (21 de Julio de 2020). *Efecto del grupo genético de vacas de las razas Gyr y Holstein sobre la técnica de producción in vitro de embriones bovinos*. Obtenido de scielo:
http://scielo.org.co/pdf/ccta/v21n3/es_0122-8706-ccta-21-03-1697.pdf
- Narváez, H. (Julio de 2021). *Aspiración folicular en vacas criollas de raza Chino Santandereano* . Obtenido de Researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/353368670_ASPIRACION_FOLICULAR_EN_VACAS_CRIOLLAS_DE_RAZA_CHINO_SANTANDEREANO
- Narváez, H., De Silva, R., De Carvalho, B., Serapiao, R., Oliveira, C., & Dos Reis, A. (31 de Mayo de 2022). *Efecto de la progesterona plasmática en la competencia para el desarrollo embrionario In vitro de vacas Bos taurus taurus y Bos taurus indicus* . Obtenido de scielo:
<http://scielo.org.co/pdf/ccta/v23n2/0122-8706-ccta-23-02-2003.pdf>
- Negron, P., Naib, A., Zezeski, A., McCracken-Harlow, V., Perry, G., & Ealy, A. (7 de Febrero de 2025). *Cumulus cell expansion, nuclear maturation and embryonic development of bovine cumulus-oocyte complexes matured in varying concentrations of follicular fluid*. Obtenido de PLoS ONE 20(2):e0318376: <https://doi.org/10.1371/journal>.
- Quintero, A. (22 de Octubre de 2022). *Estrategias de inseminación artificial en bovinos*. Obtenido de Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, Vol. 30, págs. 21-30:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8658819>
- Ríos, E., & Marly, Y. (27 de Octubre de 2023). *Factores que afectan la eficiencia reproductiva de hembras bovinas (Bos Taurus Indicus) como receptoras de embriones*. Obtenido de Repositorio Intitucional UCC: <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/c699f11b-acfe-4c99-8593-26daf3d35281>
- Rosete, J., Gallardo, H., Duarte, D., Fragoso, A., Pelayo, A., Utrera, R., & De La Torre, J. (2021). *Biotechnologías reproductivas en el ganado bovino*. Obtenido de Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Vol. 12, N°. Extra 3, 2021, págs. 39-78:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8170913>

- Stoecklein, K., Ortega, M., Spate, L., Murphy, C., & Prather, R. (3 de Febrero de 2021). *Improved cryopreservation of in vitro produced bovine embryos using FGF, LIF, and IGF1*. Obtenido de PLoS ONE 16(2):e0243727: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243727>
- UPRA, E. A. (31 de Agosto de 2020). *ANDI*. Obtenido de https://www.andi.com.co/Uploads/20200831_DT_AnalisisProspectivoVF.pdf
- Viana, J. H. (2024). *Statistics of embryo production and transfer in domestic farm animals*. Obtenido de IETS Data Retrieval committee: https://www.iets.org/Portals/0/Documents/Public/Committees/DRC/IETS_Data_Retrieval_Report_2023.pdf

Tablas

TABLA 1 BOS TAURUS VS BOS INDICUS.....	17
TABLA 2 <i>EFEECTO DEL MÉTODO DE CRIOPRESERVACIÓN Y DE LA BIPARTICIÓN EN EMBRIONES PIV BOVINOS</i>	18
TABLA 3 COMPARACIÓN DE MÉTODOS.....	23

Imágenes

IMG. 1 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN BOVINA EN COLOMBIA.....	5
--	---

Figuras

FIGURA 1 DESEMPEÑO DE LA TÉCNICA DE ASPIRACIÓN FOLICULAR EN VACAS	15
FIGURA 2 EFECTO DEL GRUPO GENÉTICO DE ACUERDO CON LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ASPIRACIÓN FOLICULAR Y PRODUCCIÓN IN VITRO DE EMBRIONES EN VACAS DE LA RAZAS GYR Y HOLSTEIN.	16
FIGURA 3 COMPARACIÓN ENTRE TÉCNICAS	19

**ACUERDO 027 DEL 16 DEL 16 DE DICIEMBRE DE 2021
ARTÍCULO 46.- OPCIONES DE TRABAJO DE GRADO
MODALIDAD ARTÍCULO PUBLICABLE (REVISIÓN)**

**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* ↓

turnitin Página 2 de 36 - Descripción general de integridad

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

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

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".

exhaustiva de este por parte del estudiante y el director para hacer los ajustes pertinentes.