

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	06-03-2025	C
Dependencia		Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		0(49)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Duvan Enrique Oñate		
FACULTAD	Ciencias Agrarias Y Del Ambiente		
PLAN DE ESTUDIOS	Zootecnia		
DIRECTOR	Naudin Alejandro Hurtado Lugo		
CODIRECTOR (si aplica)	No aplica		
TÍTULO DE LA TESIS	Descripción metodológica de las técnicas más usadas en reproducción bovina.		
TITULO EN INGLES	Methodological description of the most used techniques in bovine reproduction.		
RESUMEN			
Esta monografía presenta una descripción metodológica de las técnicas más utilizadas en la reproducción bovina, destacando sus fundamentos técnicos, procedimientos, ventajas y limitaciones. A través de una revisión bibliográfica estructurada, se analizan biotecnologías reproductivas como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), la producción in vitro de embriones (PIV), la transferencia de embriones (MOET), la sincronización e inducción del celo, el uso de CIDR y la aspiración folicular (OPU), entre otras.			
RESUMEN EN INGLES			
This monograph presents a methodological description of the most widely used techniques in bovine reproduction, highlighting their technical foundations, procedures, advantages, and limitations. Through a structured literature review, it analyzes reproductive biotechnologies such as time-sensitive artificial insemination (FTAI), in vitro embryo production (IVP), embryo transfer (ETT), estrus synchronization and induction, the use of CIDR, and follicular aspiration (OPU), among others.			
PALABRAS CLAVES	Sostenibilidad, Residuos, Bienestar, Eficiencia, Conversión		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Sustainability, Waste, Well-being, Efficiency, Conversion		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 51	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Descripción metodológica de las técnicas más usadas en reproducción bovina

Duvan Enrique Oñate

Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander

Ocaña

Zootecnia

PhD. Naudin Alejandro Hurtado Lugo

07 de Marzo del 2025

Índice

Resumen.....	6
Abstract	7
Introducción	8
Capítulo 1. Bases anatómicas, fisiológicas y reproductivas a tener en cuenta en las técnicas de reproducción bovina.....	10
1.1. Importancia productiva y evolución de la reproducción bovina	10
1.2. Anatomía del aparato reproductor bovino hembra.....	12
1.3. Fisiología reproductiva en bovinos hembras.....	14
1.4. Parámetros e indicadores de eficiencia reproductiva	15
1.5. Estrategias de manejo para aplicar técnicas reproductivas	17
Capítulo 2. Técnicas reproductivas más utilizadas en bovinos: descripción y aplicación.....	20
2.1. Sincronización estral (acetato de melengestrol).....	20
2.2. Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).....	21
2.3. Aplicación del dispositivo intravaginal de liberación de progesterona (CIDR)	21
2.4. Producción in vitro de embriones bovinos (PIV).....	22
2.5. Multiovulación y transferencia de embriones (MOET)	24

2.6. Progestágeno norgestomet en la sincronización estral	25
2.7. Aspiración Folicular (OPU)	26
Capítulo 3. Tecnologías emergentes aplicadas a la reproducción bovina	28
3.1 Uso de genética molecular	28
3.2 Manipulación genética y clonación	28
3.3 Inteligencia artificial y sensores en la reproducción	30
Capítulo 4. Factores técnicos, económicos y ambientales en la aplicación de biotecnologías reproductivas	32
4.1. Condición corporal en la inducción y sincronización estral	32
4.2 Costos y rentabilidad de las técnicas reproductivas	33
4.3 Impacto ambiental y ética animal dentro de las técnicas de reproducción bovina	34
Capítulo 5. Comparación técnica entre biotecnologías reproductivas aplicadas	36
Capítulo 6. Resultados	39
Capítulo 7. Conclusiones	41
Referencias	42

Lista de tablas

Tabla 1 Partes externas e internas del aparato reproductor bovino (hembra).....	13
Tabla 2 Parámetros reproductivos.	16
Tabla 3 Ventajas y desventajas del uso de técnicas de genética y clonación en bovinos.....	29
Tabla 4 Tecnologías de inteligencia artificial (IA) y sensores que apoyan las técnicas de reproducción bovina.....	30

Lista de figuras

Figura 1 Aparato reproductor bovino (hembra).....	12
Figura 2 El ciclo estral en relación a las hormonas	14
Figura 3 Esquema del mecanismo del CIDR.....	22
Figura 4 Bibliográficas por año	39
Figura 5 Idioma español-ingles.....	39
Figura 6 Páginas web tomadas.....	40

Resumen

Esta monografía presenta una descripción metodológica de las técnicas más utilizadas en la reproducción bovina, destacando sus fundamentos técnicos, procedimientos, ventajas y limitaciones. A través de una revisión bibliográfica estructurada, se analizan biotecnologías reproductivas como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), la producción in vitro de embriones (PIV), la transferencia de embriones (MOET), la sincronización e inducción del celo, el uso de CIDR y la aspiración folicular (OPU), entre otras. Se examina su aplicación práctica en sistemas productivos bovinos, especialmente en el contexto colombiano, considerando factores como la eficiencia reproductiva, el bienestar animal, la viabilidad embrionaria y los costos asociados. El estudio permite establecer una comprensión integral de las metodologías empleadas en estas técnicas y su aporte al mejoramiento genético y la productividad ganadera.

Palabras claves: Biotecnología, Reproducción, Embriones, Gestación

Abstract

This monograph presents a methodological description of the most widely used techniques in bovine reproduction, highlighting their technical foundations, procedures, advantages, and limitations. Through a structured literature review, it analyzes reproductive biotechnologies such as timed artificial insemination (FTAI), in vitro embryo production (IVP), embryo transfer (ETT), estrus synchronization and induction, the use of CIDR, and follicular aspiration (OPU), among others. It examines their practical application in bovine production systems, especially in the Colombian context, considering factors such as reproductive efficiency, animal welfare, embryo viability, and associated costs. The study provides a comprehensive understanding of the methodologies used in these techniques and their contribution to genetic improvement and livestock productivity.

Keywords: Biotechnology, Reproduction, Embryos, Gestation

Introducción

La reproducción bovina ha sido un pilar fundamental para el avance de la productividad ganadera, en las últimas décadas, la necesidad de mejorar la eficiencia reproductiva, la calidad genética y la sostenibilidad de la producción ha impulsado el desarrollo y aplicación de diversas biotecnologías reproductivas, técnicas, que van desde la inseminación artificial hasta la clonación y la producción in vitro de embriones, han transformado el manejo reproductivo tradicional, permitiendo alcanzar metas más ambiciosas en cuanto a la reproducción animal (Medina & Tovar, 2021).

En este contexto, la presente monografía tiene como propósito describir y analizar las principales técnicas y biotecnologías reproductivas aplicadas en bovinos entre 2019 y 2024, destacando sus fundamentos metodológicos, procedimientos, ventajas, limitaciones, y su impacto tanto en pequeños productores como en sistemas de producción tecnificados. Se presta especial atención al contexto colombiano, teniendo en cuenta las condiciones particulares de manejo, clima, genética y desarrollo tecnológico (Rizzo Jordán, 2023).

La investigación responde a la siguiente pregunta orientadora, ¿Cómo contribuyen las principales técnicas reproductivas bovinas asistidas a mejorar la eficiencia reproductiva y genética del ganado en Colombia?

Para responder a esta pregunta, se empleó una metodología de revisión bibliográfica, basada en fuentes científicas recientes, provenientes de artículos, tesis, libros y bases de datos académicas en español e inglés, esta revisión documental permitió identificar las biotecnologías más relevantes, sus aplicaciones prácticas, la eficiencia de sus resultados y los factores que inciden en su adopción en el campo.

Asimismo, se discute el impacto económico, ético y ambiental de estas técnicas, permitiendo una visión crítica y contextualizada del desarrollo reproductivo bovino.

Se realizó bajo los siguientes objetivos, con un objetivo general, Describir de manera íntegra las técnicas más utilizadas en reproducción bovina, detallando sus metodologías y procedimientos claves, y tres objetivos específicos, Identificar y analizar las técnicas más prevalentes en reproducción bovina, Describir detalladamente los procedimientos y protocolos metodológicos asociados con cada técnica de reproducción bovina finalmente Evaluar la eficacia y las limitaciones de las técnicas de reproducción bovina, considerando factores como el bienestar animal, la viabilidad embrionaria y los costos asociados.

Capítulo 1. Bases anatómicas, fisiológicas y reproductivas a tener en cuenta en las técnicas de reproducción bovina

1.1. Importancia productiva y evolución de la reproducción bovina

La producción animal representa ya más de un tercio del producto interno bruto (PIB) agrícola en los países en desarrollo y se prevé que seguirá aumentando, la revolución ganadera, ha creado oportunidades para aumentar la rentabilidad económica de productores que dependen de la misma. Sin embargo, se presentan una serie de obstáculos como es la degradación de las tierras, la contaminación ambiental, el calentamiento global y la escasez de agua que atentan contra el crecimiento del sector pecuario mundial (Campo, 2019). Por lo anterior se han venido desarrollando técnicas en pro al benéfico del medio ambiente y del bolsillo del productor; tales estrategias van de la mano con nuevas tecnologías que en función nos lleva a tener variedad de recueros para manejar genética con medio ambiente y economía rentable y así mantener la seguridad alimentaria mundial (Carvajal, et al., 2020).

La evaluación y selección de diferentes razas comenzó con la domesticación de las especies alrededor de 12 000 años atrás, guiado por los deseos de obtener caracteres dictados por las necesidades sociales, ambientales y nutricionales, sin que se tuviera ningún conocimiento de los procesos genéticos (Caraballo, 2023). Durante la Convención de Diversidad Biológica se definió la biotecnología como cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos o derivados para hacer o modificar productos o procesos para un uso específico (Ortega, 2020). Después de la segunda guerra mundial, los tres grandes sectores de la zootecnia (la nutrición animal, la genética y reproducción y la salud animal) resultaron muy beneficiados a partir de las aplicaciones de varias biotecnologías, que han sido usadas ampliamente en los países en desarrollo. Los aportes de estas en el área de la ciencia animal han

producido grandes beneficios económicos, inducidos en sus inicios por la inseminación artificial (IA), el diagnóstico de enfermedades, el desarrollo de vacunas y los avances en la nutrición animal (Merchan, 2023).

En conjunto la reproducción animal, la genética y el mejoramiento, la introducción de la inseminación artificial en la década del 30 del siglo pasado, represento entonces el inicio de una revolución en la mejora animal tradicional. Más tarde, el descubrimiento de la viabilidad del glicerol como crioprotector del semen eliminó las barreras prácticas de la IA y expandió sus fronteras. A esto le siguió la sincronización del estro, la inducción de la ovulación múltiple, la transferencia de embriones y el sexado del semen (Gálvez, 2019).

Actualmente tener registros que nos indican que al año se generaran aproximadamente 1,275,874 embriones a nivel global, de los cuales 546,628 fueron producto de tecnologías in vitro. Brasil ostenta el 70.8% de la totalidad de embriones in vitro producidos mundialmente. Sin embargo, se subraya que la punción ovárica (OPU), seguida de la producción in vitro de embriones (PIV), se posiciona como el procedimiento principal para incrementar la cantidad de individuos de interés en el ganado bovino. (Leon, et al., 2021).

Ahora bien existen muchas interrogantes sobre el uso de las biotecnologías ganaderas en los países en desarrollo, relacionadas con cuán extendido está el uso de las mismas en estos países, cuáles son las principales razones para el éxito o el fracaso de su aplicación en esas condiciones o qué opciones tienen los países en desarrollo para tomar decisiones sobre la implementación de estas tecnologías apropiadas que permitan entonces incremento de rentabilidad y genética (Leyton, 2019).

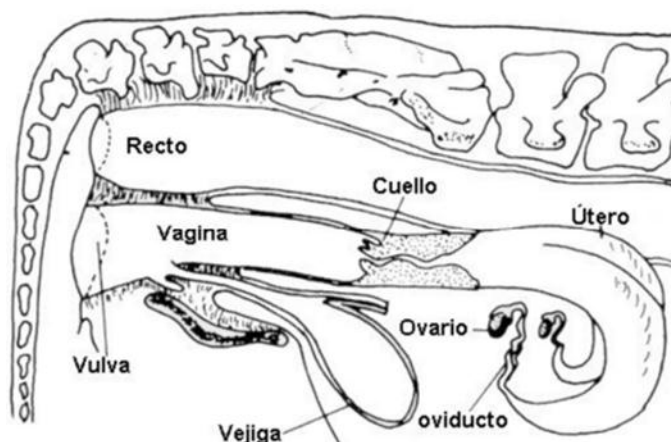
1.2. Anatomía del aparato reproductor bovino hembra

Conocer la anatomía del aparato reproductor bovino hembra es fundamental para la correcta aplicación de técnicas de reproducción asistida, ya que permite ubicar con precisión estructuras como el cérvix, el útero y los ovarios, lo cual es esencial para procedimientos como la inseminación artificial, la transferencia de embriones o la aspiración folicular, por lo que facilita la detección de alteraciones reproductivas, mejora el diagnóstico veterinario y reduce errores que puedan comprometer la eficiencia reproductiva o el bienestar del animal (De La Hoz, 2019).

Contextualizando lo anterior la hembra bovina posee la siguiente estructura anatómica de interés para técnicas asistidas de reproducción; donde encontramos un par de ovarios, oviductos y cuernos uterinos; además hace parte de este conjunto el útero, cérvix, vagina y vulva, la vejiga se ubica debajo del aparato reproductor, y se conecta a la abertura uretral en la base de la vagina (Sánchez, et al., 2023)

Figura 1

Aparato reproductor bovino (hembra)



Nota. Es esencial tener un conocimiento detallado del aparato reproductor de la hembra bovina para implementar eficazmente las técnicas de reproducción (De La Hoz, 2019).

Ahora bien dentro de los órganos reproductores internos, se asocia los ovarios; normalmente cada hembra tiene 2 ovarios o glándulas sexuales femeninas, productoras tanto de óvulos como de hormonas sexuales (estrógenos, progesterona y relaxina) y por lo tanto se denominan órganos gametos hormonales (De La Hoz, 2019).

Las trompas de Falopio son entonces las que conectan los ovarios con el útero y es allí donde ocurre el proceso de fertilización del ovulo por parte del espermatozoide para finalmente producirse la preñez; dicha preñez se desarrolla en el útero que el mismo tiene forma de "Y" invertida y se divide en dos cuernos un cuerpo y un cuello (cervix), y se encuentra situado generalmente en el suelo de la cavidad pelviana (De La Hoz, 2019).

Y el cérvix que su interior contiene tres a cinco anillos cervicales, lo que permite proteger al útero del medio ambiente exterior y regula el paso del semen, igualmente también podemos encontrar otras estructuras que se encargan entonces de toda la parte reproductiva y la supervivencia del embrión entre las que están el oviducto, el cuerpo uterino, la vagina, el vestíbulo vaginal, y la vulva (De La Hoz, 2019).

Tabla 1

Partes externas e internas del aparato reproductor bovino (hembra)

PARTES EXTERNAS	PARTES INTERNAS
Vulva	Cérvix o cuello uterino
Triangulo ventral de la vulva	Anillos cervicales
Clítoris	Cuerpo del útero
Orificio urinario	Carúnculas endometriales
Cuerpo de la vagina	Oviducto
Flor de radiada	Ovario

Nota. Entender la anatomía y fisiología del aparato reproductor bovino contribuye a la prevención de trastornos reproductivos, al aumento de la fertilidad y a la mejora de los

programas de reproducción asistida, lo que se traduce en una mayor eficiencia en la producción ganadera. (Gomez, et al., 2020).

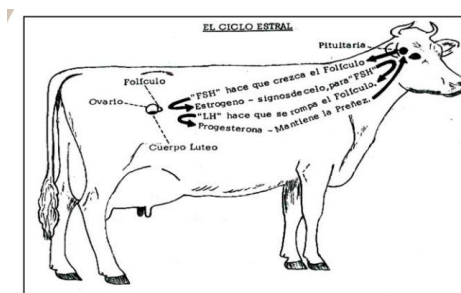
1.3. Fisiología reproductiva en bovinos hembras

Para aplicar con éxito las técnicas de reproducción asistida, es importante el conocimiento del ciclo estral, la ovulación, y la acción hormonal permite determinar el momento óptimo para realizar procedimientos como la inseminación artificial, la sincronización del celo o la transferencia de embriones, lo que favorece una mejor planificación reproductiva, incrementa las tasas de concepción y mejora la eficiencia en los programas de manejo reproductivo (Apolo Guaycha, 2023).

La pubertad es entonces la maduración sexual caracterizada por la facultad de reproducción, y la podemos reconocer por presentarse un primer celo completo es decir por el estro, ovulación y formación del cuerpo lúteo; aparece cuando alcanzan los 12 a 17 meses, edad donde se logra la madurez de los órganos reproductivos, se inicia la secreción de gonadotropinas (GnRH) desde el hipotálamo y la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), desde la hipófisis (Apolo Guaycha, 2023).

Figura 2

El ciclo estral en relación a las hormonas



Nota. El ciclo estral en bovinos y sus etapas. (Apolo Guaycha, 2023).

Para comprender el ciclo estral en bovinos y el manejo adecuado a la hora de realizar procedimientos como la IA, se entiende que la duración aproximada del ciclo estral es de 21 días y se divide en cuatro etapas: proestro, estro, metaestro y diestro, en la fase de estro, la hembra muestra receptividad al macho y se produce la ovulación, en el metaestro y diestro, se desarrolla el cuerpo lúteo, que secreta progesterona para favorecer la gestación, si no ocurre la preñez, el ciclo comienza nuevamente (Apolo Guaycha, 2023).

Con lo anterior es entonces donde se le da paso al ciclo Ciclo Estral; que es resultado donde se representa un complejo de transformaciones específica tanto morfológicas, histológicas, y hormonales, no solamente en los órganos reproductores, sino también en otros órganos del individuo, y su duración promedio en las vacas es de 17-23 días; en las vaquillas el ciclo estral dura 18-24 días; y se divide en tres fases como con el proestro con una duración de 3 días, estro que permanece máximo 2 días y se define como el momento óptimo de la monta, metaestro con una duración de 4 días y finalmente el diestro que dentro de su fase va solo hasta los 12 días (Roa-Prieto & Rojas-Scarpetta, 2019).

1.4. Parámetros e indicadores de eficiencia reproductiva

Los índices reproductivos nos permiten identificar las áreas de mejoramiento, establecer metas reproductivas realistas, monitorear progresos e identificar problemas en granjas más rápido generándonos eficacia y rentabilidad, estos índices se valoran y se determinan de manera individual según el desempeño y comportamiento de la vaca en estudio llevándola entonces a que sus parámetros la clasifiquen como optima, bajo este concepto es entonces una cría por año (Bustillo Parrado & Melo Colina, 2020).

Tabla 2*Parámetros reproductivos*

Índice Reproductivo	Valor Óptimo	Valor que Indica problemas
Intervalo entre partos	12.5 - 13 meses	> 14 meses
Promedio de días al primer celo observado	< 40 días	> 60 días
Promedio de días de vacía al primer servicio	45 a 60 días	> 60 días
Servicios por concepción	< 1.7	> 2.5
Índice de concepción al primer servicio en novillas	65 a 70 %	< 60 %
Índice de concepción al primer servicio en vacas en lactancia	50 a 60 %	< 40 %
Vacas que conciben con menos de tres servicios	>90 %	< 90 %
Vacas con un intervalo entre servicios de 18 a 24 días	> 85 %	< 85 %
Promedio de días de vacía	85 a 110 días	> 140 días
Vacas vacías por más de 120 días	< 10 %	> 15 %
Duración del periodo seco	50 a 60 días	< 45 o > 70 días
Promedio de edad al primer parto	24 meses	< 24 o > 30

Nota. Los parámetros reproductivos, que determinan el éxito de las técnicas de reproducción asistida en bovinos. (Villarroel Herbas, 2022).

Algunos de los indicadores desempeño reproductivo que podemos tener en cuenta son: el intervalo entre partos, servicio, días abiertos y servicios de concepción estos parámetros son uno de los más importantes que nos describe la eficiencia reproductiva de nuestro hato; pero también calcular la eficiencia en la detención de calores, primera inseminación, las vacas que estén en rango de 45 a 60 días postparto y como importante la edad al primer parto entre otros (Villarroel Herbas, 2022).

Ahora bien estos parámetros de evalúan en conjunto con la edad de la vaca ya que nos dicen que la pubertad no debe superar los 21 meses ya que dentro de este periodo pueda entonces tener su parto a los 2 años y que el intervalo entre partos entonces este de 365 días o en su consideración menos, ya que la gestación oscila entre 275 – 290 días, siendo así las vacas deben

quedar gestantes entre los 75 y 90 días posparto y así cumplir con el cálculo de un intervalo entre partos de 12 meses (Villarreal Herbas, 2022).

Una reproducción eficiente significa que las vacas están produciendo crías con regularidad, lo que maximiza la producción de carne o leche por unidad de tiempo, esto traducido con una mayor rentabilidad para el productor ganadero ya que los animales que se reproducen rápidamente y mantienen una alta tasa de concepción permiten una producción continua de crías para la venta o reposición del hato, dentro de la genética estos parámetros nos influyen a identificar y mejorar la fertilidad y la capacidad reproductiva en el ganado bovino contribuyendo a la producción de animales más fértiles y productivos en las generaciones futuras (Bustillo Parrado, & Melo Colina, 2020).

1.5. Estrategias de manejo para aplicar técnicas reproductivas

Para nosotros llevar cabo biotecnologías reproductivas en nuestro hato que se debe planificar la temporada de apareamiento, las estrategias de sincronización a utilizar y finalmente el método de detención de celo y la fertilización (Martínez, 2019). La planificación de la temporada de apareamiento en bovinos, nos lleva a definir claramente los objetivos de reproducción, ya sea maximizar la producción de carne o leche, mejorar la genética, o ambos, teniendo en cuenta que lo anterior va de la mano con el estado reproductivo del hato.

Como importante la selección del toro que cumpla todos los parámetros de calidad seminal, ya que si vamos utilizar un sistema de apareamiento controlado este tiene que cumplir con los parámetros establecidos tanto para el macho como la hembra; se debe considerar entonces la duración del estro, la sincronización del celo, y la edad y estado reproductivo de los animales (Martínez, 2019).

Ya teniendo lo anterior mencionado se puede entonces determinar las estrategias de sincronización del celo y la ovulación que puede ser programas de sincronización del celo con prostaglandinas esto sincroniza a las vacas en celo y en fase folicular, lo que facilita la detección del celo y permite la inseminación artificial en un período de tiempo más predecible, también se encuentran programas de sincronización con dispositivos intravaginales de progesterona que los mismos liberan progesterona y en la retirada del dispositivo se asocia con la inducción de la ovulación o en su caso el inicio del celo (Benavides, 2020).

Estos programas pueden combinarse con inyecciones de hormonas gonadotrópicas, como la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), para mejorar la sincronización de la ovulación. Protocolos de doble inseminación se realiza una primera inseminación artificial en un momento específico del ciclo estral, seguida de una segunda inseminación 12-24 horas después, la estrategia es aumentar las posibilidades de concepción al permitir que los espermatozoides estén presentes en el tracto reproductivo cuando ocurre la ovulación (Benavides, 2020).

Ahora bien independientemente del protocolo de sincronización utilizado, es importante realizar una detección cuidadosa del celo para identificar a las vacas en celo y listas para la inseminación artificial, esto puede hacerse visualmente, mediante dispositivos de detección de celo, o mediante tecnologías de monitoreo electrónico, como collares o dispositivos intravaginales (Benavides, 2020).

Y finalmente podemos entonces determinar preñez mediante métodos como palpación rectal uno de los métodos más utilizados ya que consiste en introducir el brazo del veterinario en el recto de la vaca para palpar los órganos reproductivos y durante la gestación, se pueden sentir el útero agrandado y el feto en desarrollo (Aguilar, 2019).

Ultrasonido es una técnica no invasiva que utiliza ondas de sonido para producir imágenes de los órganos internos de la vaca, incluyendo el útero y el feto y así confirmar la presencia de un embrión o feto en el útero y determinar su edad y viabilidad (Aguilar, 2019).

Cada uno de estos métodos tiene sus propias ventajas y limitaciones, y la elección del método depende de factores como la disponibilidad de equipos y personal capacitado, el costo y la precisión requerida. En muchos casos, se utilizan múltiples métodos para confirmar la preñez y obtener una evaluación más completa (Aguilar, 2019).

Capítulo 2. Técnicas reproductivas más utilizadas en bovinos: descripción y aplicación

2.1. Sincronización estral (acetato de melengestrol)

En un estudio realizado con vacas y vaquillas de la raza Suizo Pardo x Cebú, se probó el uso del progestágeno acetato de melengestrol (0.5 mg/día durante 9 días) en el alimento, combinado con una dosis de estradiol valerato de seis miligramos y progesterona de 50 mg lo que correspondió al día uno, los resultados mostraron que el porcentaje de vacas inseminadas a los 48 días de empadre fue más alto en el grupo inseminado ante cualquier signo de estro (75.8%) en comparación con las vacas testigo con técnica común fue del (38.9%) y las inseminadas convencionalmente a estro detectado (51.5%). Sin embargo, las tasas de concepción (TC) fueron similares entre los diferentes tratamientos (20.9%, 28.8% y 37.1%) (Rosete Fernández, et al., 2021). El estudio muestra que el uso de acetato de melengestrol en combinación con otras hormonas puede mejorar la inseminación en vacas, especialmente si se insemina a la vaca ante cualquier signo de estro, lo que aumenta las probabilidades de preñez, aunque la sincronización del estro con acetato de melengestrol mostró ser efectiva, no es una práctica común en México debido a su falta de aplicabilidad en pequeños grupos de animales, ya que la mayoría de los hatos ganaderos en el país son pequeños (Rosete Fernández, et al., 2021).

En un estudio con vaquillas Brangus y criollas, se evaluó la inseminación artificial (IA) en momentos específicos debido a que algunas hembras no presentaban estro, a pesar de haber recibido tratamiento hormonal, la IA se realizó a las 48, 54 y 60 horas tras retirar el implante hormonal, logrando tasas de concepción (TC) de 54.5%, 60.6% y 47.0%, respectivamente, las mejores tasas de concepción ocurrieron a las 48 y 54 horas. Este enfoque permitió avanzar en el uso de la sincronización estral con inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) (Rosete Fernández, et al., 2021).

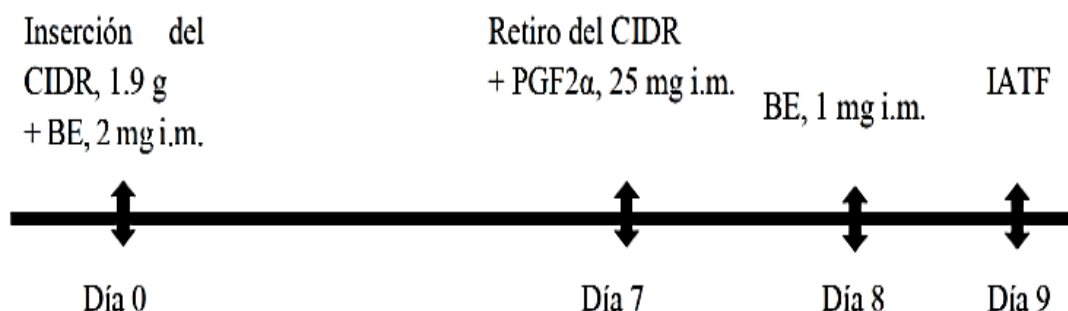
2.2. Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)

En otro estudio con ganado de carne en pastoreo en un clima subtropical húmedo, se investigó la sincronización estral en períodos de empadre de 85 días. Las vacas Cebú sin cría fueron tratadas con SC21009 (9 o 6 mg durante 9 días) y VE (6 mg en el primer día del tratamiento), las vacas tratadas mostraron una mejor sincronización estral (84% frente al 0% de las no tratadas) y tasas de concepción superiores a los 26 días de empadre (59% frente al 40%), aunque al finalizar el empadre no se observaron diferencias significativas en las tasas de concepción (Rosete Fernández, et al., 2021).

2.3. Aplicación del dispositivo intravaginal de liberación de progesterona (CIDR)

La introducción del dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR) ha transformado la sincronización estral en bovinos, investigadores del INIFAP lograron tasas de concepción (TC) del 44.8%, 77.1% y 100% a los 3, 30 y 60 días después del retiro del CIDR en vacas en anestro y ciclando con buena condición corporal (Rosete Fernández, et al., 2021). En vaquillas *Bos taurus* x *Bos indicus*, la TC con el CIDR y la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) a las 84 horas después del retiro del dispositivo fue superior a la inseminación convencional (36.4% frente a 18.2%), se demostró que la IATF a las 84 horas fue eficaz para obtener preñeces en vaquillas que no presentaron estro (Rosete Fernández, et al., 2021).

En los protocolos de sincronización del estro y la ovulación con CIDR, se utiliza comúnmente PGF2 α y benzoato de estradiol (BE), la GnRH ha mostrado buenos resultados al sincronizar la emergencia de una nueva ola de desarrollo folicular, similar al BE, en vacas con sospecha de anestro, se recomienda añadir 400 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG) el día 7 del protocolo, y se puede sustituir el BE por GnRH en la primera aplicación (día 1 del CIDR) y realizar la segunda aplicación durante la IATF (Sanchez Gamarra, 2023).

Figura 3*Esquema del mecanismo del CIDR*

Nota. Esquema general para la sincronización del ciclo estral en vacas y vaquillas mediante inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). (Rosete Fernández, et al., 2021).

El CIDR ha demostrado ser eficaz para mejorar las tasas de concepción en vacas y vaquillas, tanto en aquellas en anestro como en las que están ciclando, en los protocolos que combinan el CIDR con PGF2 α y benzoato de estradiol, se ha logrado una sincronización exitosa del ciclo estral, y la GnRH se ha mostrado como una alternativa efectiva para promover el desarrollo folicular y la ovulación, el uso de gonadotropina coriónica equina (eCG) es beneficioso en vacas en anestro, donde los avances facilitan la implementación de la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), mejorando la eficiencia reproductiva en la ganadería (Sanchez Gamarra, 2023).

2.4. Producción in vitro de embriones bovinos (PIV)

La biotecnología de la Producción In Vitro (PIV) tiene múltiples aplicaciones en la ciencia y la ganadería, la mejora genética de animales de granja y la conservación de especies en riesgo de extinción, conocida también como Fertilización In Vitro (FIV), la PIV involucra procesos como la maduración de óvulos en laboratorio, la capacitación del espermatozoides, la

fertilización in vitro y el cultivo de embriones hasta sus primeras etapas, los óvulos pueden ser extraídos de ovarios de animales vivos o de rastro, y los embriones generados se transfieren a vacas receptoras o se criopreservan para su uso posterior (Ferré, et al., 2020).

A nivel global, dos factores clave han impulsado el avance de la Producción In Vitro (PIV): la biotecnología de semen sexado y las evaluaciones genómicas, la PIV facilita el uso eficiente de semen sexado y mejora la selección genética, acelerando la reproducción y reduciendo los intervalos generacionales (Nogueira, et al., 2021). A principios del siglo XXI, Brasil fue líder en la expansión de la PIV, con el 85% de sus embriones derivados de esta técnica, lo que representaba el 50% de la producción mundial, este éxito se extendió a otros países latinoamericanos, incluido México, aunque las condiciones en México no permiten replicar el modelo brasileño, en 2018, México reportó la transferencia de casi 28,000 embriones PIV, frente a poco más de 4,000 embriones obtenidos in vivo (Ferré, et al., 2020).

A pesar de los avances en la biotecnología de Producción In Vitro (PIV), como la mejora de los medios de cultivo y los procesos de maduración y fertilización, las tasas de éxito en la obtención de blastocistos siguen siendo limitadas, entre un 40 y 50%, este desafío se debe a la falta de consistencia en la calidad de los ovocitos utilizados, por lo tanto, es necesario seguir investigando para mejorar tanto la cantidad como la calidad de los óvulos, su capacidad de desarrollo tras la transferencia y su resistencia a la criopreservación. (Nogueira, et al., 2021).

En México, la investigación en Producción In Vitro (PIV) ha sido limitada debido a la complejidad de la biotecnología y los altos requerimientos de infraestructura y personal especializado, varias universidades y organizaciones han trabajado en este campo, que incluyen la reducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en cultivos, el uso de fitoalexinas como antioxidantes para mejorar la criopreservación, y el uso de proteínas de choque térmico (HSP70)

para mejorar el desarrollo de embriones, se han evaluado sistemas de cultivo individual de embriones con mejores resultados morfológicos y comparado dispositivos de vitrificación para embriones, encontrando que el Cryotop® es más eficaz que otros dispositivos, y se ha probado el uso de medios de cultivo humanos para producir embriones bovinos con buenos resultados. (Nogueira, et al., 2021). El desarrollo futuro de la Producción In Vitro (PIV) en bovinos enfrenta desafíos para optimizar su eficiencia y aplicación, aunque se han logrado avances en medios de cultivo, todavía hay limitaciones en la calidad embrionaria, tasas de preñez, criopreservación y desarrollo fetal, las investigaciones actuales se centran en mejorar los medios de cultivo, regular el metabolismo de los lípidos y perfeccionar técnicas de criopreservación como la vitrificación, la edición genética mediante CRISPR-Cas9 abre nuevas posibilidades en la mejora genética y aplicaciones biomédicas, aunque persisten desafíos éticos y legales (Sánchez Calabuig, et al., 2023).

2.5. Multiovlación y transferencia de embriones (MOET)

La MOET es un conjunto de biotecnologías reproductivas enfocadas en mejorar la reproducción materna y el mejoramiento genético mediante la selección de donadores, superovulación, recolección, transferencia y criopreservación de embriones, desarrollada entre 1940 y 1960, ha sido clave en la transferencia de embriones, con su mayor aplicación en bovinos, aunque también se usa en otras especies, contribuye a la conservación de recursos genéticos y ha sido impulsada tanto por científicos como por veterinarios para su aplicación (Rosete Fernández, et al., 2021).

Durante la década de 1970, surgieron en Norteamérica los primeros centros dedicados a la transferencia de embriones (TE), como “Alberta Livestock Transfer” y “Colorado State University”, en 1979, se estableció en Querétaro la Clínica de Transferencia de Embriones, donde nació la primera becerra Holstein mediante MOET, con el tiempo, la recolección y transferencia de embriones pasó de técnicas quirúrgicas con anestesia general a métodos no invasivos, lo que simplificó su aplicación y favoreció su uso (Rosete Fernández, et al., 2021).

La variabilidad en la respuesta a la superovulación en bovinos sigue siendo un desafío para la eficiencia de la MOET, inicialmente, se utilizaba eCG, pero se comprobó que los extractos de pituitaria con FSH y LH generaban mejores resultados, aunque con diferencias en su composición, investigaciones evidenciaron variaciones en la producción de embriones según el tipo de extracto y el metabolismo del ganado, a pesar de los avances, el incremento en la producción anual de embriones ha sido limitado; sin embargo, el protocolo de Reciclado Rápido de Donadoras ha reducido los intervalos entre superovulaciones y optimizado la producción sin comprometer la calidad (Rosete Fernández, et al., 2021).

2.6. Progestágeno norgestomet en la sincronización estral

El norgestomet es un progestágeno sintético potente que se emplea en programas de sincronización del estro, especialmente en bovinos es de los productos comerciales más conocidos bajo el nombre actualmente como Crestar®, que combina un implante subcutáneo de 3 mg de norgestomet con una inyección intramuscular que contiene 3 mg de norgestomet y 5 mg de valerato de estradiol, este protocolo ha demostrado ser efectivo para inducir y sincronizar el estro, incluso en animales en anestro, aunque el uso de norgestomet es común en varios países, su disponibilidad comercial puede variar, en algunos lugares, productos como Syncro-Mate-B ya no están disponibles en el mercado, sin embargo, Crestar® sigue siendo utilizado en varios

países, incluyendo Colombia (Medina Céspedes & Tovar Olmos, 2021).

El norgestomet (CRESTAR®) es un progestágeno de alta potencia empleado en bovinos para sincronizar el estro y la ovulación, se administra en la oreja y se retira tras 9 días, en combinación con estradiol (VE) y prostaglandina (PGF 2α). Un estudio en vacas cebú y sus cruza mostró una tasa de estro (TES) de hasta 100 % y una tasa de concepción (TC) de hasta 98.3 %. el implante SC21009 con VE se utilizó para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), logrando una TES del 95 % y una TC del 85 % en la inseminación de 45 días (Rosete Fernández, et al., 2021).

El uso del norgestomet permite que varias vacas entren en celo simultáneamente, facilitando la inseminación artificial (IA) o la monta con toros, es especialmente beneficioso para vacas anéstricas (sin actividad ovárica), ya que induce el estro de manera controlada, evitando demoras en la concepción y optimizando la eficiencia reproductiva en la producción ganadera (Albuja Valdivieso, 2024).

2.7. Aspiración Folicular (OPU)

La técnica de aspiración folicular guiada por ultrasonografía (OPU), desarrollada a finales de los años 80, se ha convertido en un método esencial para recolectar ovocitos de ganado, en los Estados Unidos, el número de colecciones anuales aumentó de 2,000 a 32,000 en 2015, esta técnica facilita la fecundación de los ovocitos en laboratorios de alta genética, su cultivo in vitro durante 7 días, y la selección de embriones viables para ser transferidos a hembras receptoras o para su criopreservación (Chauca Guamán, 2024).

La técnica de punción transvaginal guiada por ultrasonografía permite extraer ovocitos de hembras donantes vivas, lo que representa una mejora frente a los métodos anteriores, este procedimiento requiere el uso de ultrasonido, una bomba de aspiración y una aguja hipodérmica conectada a un tubo colector que debe mantener una presión de 50-85 mm Hg y una temperatura de 38°C, se sugiere sedar a la hembra con Democedan o xilacina para asegurar la seguridad del operador y optimizar la efectividad del proceso (Chauca Guamán, 2024).

Tras la limpieza de la vulva y el ano, se inserta el sistema de aguja y el transductor de ultrasonido hasta el cérvix, con la mano contraria, se localiza el ovario a través de la ultrasonografía y se realiza la punción para extraer los ovocitos, estos deben mantenerse a 38°C y en un medio TALP enriquecido con suero de ternero fetal, penicilina, estreptomicina y heparina, se deben perforar los folículos mayores a 3 mm durante cada sesión de OPU (Gálvez Pradillo, 2019).

La preestimulación con FSH antes de la OPU mejora el desarrollo de los ovocitos, especialmente cuando la estimulación se realiza 48 horas antes de la aspiración, los ovocitos recogidos se clasifican en cuatro grupos según la presencia de células del cúmulo y su calidad citoplasmática: Grado 1 (más de tres capas), Grado 2 (una capa), Grado 3 (desnudo), y Grado 4 (atrésico), los ovocitos atrésicos se descartan, mientras que los de Grado 1, 2 y 3 se utilizan para la producción de embriones in vitro (Chuga, et al., 2020).

Capítulo 3. Tecnologías emergentes aplicadas a la reproducción bovina

3.1 Uso de genética molecular

La genética molecular ha surgido como una herramienta transformadora en la reproducción bovina, abriendo nuevas posibilidades para la mejora genética y la optimización de los procesos reproductivos, mediante el uso de tecnologías avanzadas como la secuenciación del ADN, la edición genética y la selección genética asistida por marcadores, se ha logrado un notable progreso en la calidad y productividad del ganado, estas innovaciones permiten una selección más precisa de rasgos deseables, como la resistencia a enfermedades, la eficiencia reproductiva y el rendimiento tanto en la producción de carne como de leche, con un enfoque más eficiente y personalizado (Mrode, et al., 2019).

El uso de la genética molecular no solo optimiza los resultados reproductivos, sino que también proporciona una oportunidad para reducir costos, mejorar la rentabilidad de los productores y promover la sostenibilidad dentro de la ganadería, gracias a estas tecnologías, los criadores pueden acelerar la transmisión de genes beneficiosos a las futuras generaciones de ganado, lo que incrementa la capacidad productiva de forma más rápida y controlada, este enfoque innovador está transformando las prácticas de cría, garantizando una ganadería más eficiente y capaz de afrontar los desafíos del futuro (Gutiérrez-Reinoso, et al., 2021).

3.2 Manipulación genética y clonación

La manipulación genética y la clonación se han consolidado como opciones tecnológicas innovadoras en la reproducción bovina, proporcionando soluciones avanzadas para optimizar la calidad genética y la productividad del ganado, técnicas permiten intervenir directamente en el material genético de los animales, posibilitando la creación de individuos con características específicas, como un mayor rendimiento en carne y leche, mayor resistencia a enfermedades o

mejores capacidades reproductivas, se da gracias a la manipulación genética, es posible modificar o introducir genes para potenciar rasgos deseables, mientras que la clonación ofrece la posibilidad de replicar exactamente a individuos con características excepcionales (Van Eenennaam, et al., 2021).

La aplicación de estas tecnologías en la reproducción bovina tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en la industria ganadera, a pesar de los debates éticos y científicos que generan, su capacidad para acelerar los avances genéticos y preservar características valiosas ofrece a los productores una herramienta poderosa para abordar los retos del sector, como la creciente demanda de alimentos y la adaptación a los cambios ambientales (Jabbar, et al., 2021)

Tabla 3
Ventajas y desventajas del uso de técnicas de genética y clonación en bovinos

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Manipulación Genética	Mejora específica de características deseadas (resistencia a enfermedades, rendimiento, etc.). Acelera el progreso genético en las generaciones Potencial para aumentar la productividad y eficiencia del ganado. Contribuye a la sostenibilidad mediante el mejoramiento de la eficiencia alimentaria y reproductiva.	- Alto costo en investigación y desarrollo. - Riesgos éticos relacionados con la modificación genética. - Posibles efectos secundarios imprevistos en el ganado. - Requiere un conocimiento profundo y especializado en genética.
Clonación	Permite la reproducción exacta de animales con características excepcionales. Puede ser utilizada para preservar animales con características altamente deseables. Garantiza la conservación de rasgos genéticos de gran valor. Mayor control sobre la mejora genética a través de la reproducción exacta.	- Falta de diversidad genética, lo que puede hacer que el ganado sea más vulnerable a enfermedades. - Altos costos en los procesos de clonación. - Potencial de malformaciones o problemas de salud en los animales clonados. - Preocupaciones éticas sobre la clonación y su impacto en el bienestar animal.

Nota. La manipulación genética y la clonación se presentan como una alternativa prometedora para transformar y modernizar la ganadería. (Jabbar, et al., 2021).

3.3 Inteligencia artificial y sensores en la reproducción

Tabla 4

Tecnologías de inteligencia artificial (IA) y sensores que apoyan las técnicas de reproducción bovina

TECNOLOGÍA	APLICACIÓN EN LA REPRODUCCIÓN BOVINA
Algoritmos de IA (Machine Learning)	Predicción de celo, Optimización del momento para la inseminación artificial, Diagnóstico de problemas reproductivos
Sistemas Expertos	Asistencia en la toma de decisiones sobre la selección genética de animales, Identificación temprana de problemas reproductivos.
Visión por Computadora	Monitoreo del comportamiento del ganado (p. ej., detección de celo a través de patrones de actividad).
Redes Neuronales Artificiales	Predicción del momento ideal para inseminación artificial, Diagnóstico de infertilidad o problemas reproductivos.
Sensores de Temperatura	Detección de fiebre o enfermedades, Identificación de cambios hormonales asociados al celo.
Sensores de Actividad	Monitoreo de actividad para detectar el inicio del celo, Seguimiento del comportamiento reproductivo (ej., caminatas, interacción con otros animales).
Sensores de Impulso Cardíaco	Indicadores de estrés o de condiciones de salud que pueden afectar la reproducción.
Sensores de pH y Conductividad	Monitoreo de la salud reproductiva, p. ej., cambios en los niveles hormonales.
Dispositivos de Ultrasonido	Evaluación de la salud reproductiva (estado del útero, ovarios, etc.), Confirmación de gestación.

Nota. Las tecnologías de IA y sensores mejoran las técnicas de reproducción bovina al permitir un monitoreo más preciso y eficiente, analizan datos en tiempo real y detectan patrones tempranos, facilitando decisiones informadas y optimizando la gestión de la fertilidad y salud del ganado. (Cordovilla Serrano, 2024).

La inteligencia artificial (IA) y los sensores se han convertido en herramientas revolucionarias en la reproducción bovina, transformando las técnicas tradicionales y brindando nuevas formas de mejorar la eficiencia y precisión en los procesos reproductivos, gracias a la capacidad de la inteligencia artificial para analizar grandes cantidades de datos y reconocer patrones complejos, es posible realizar diagnósticos más rápidos y precisos, como detectar el

celo de manera temprana, predecir el momento ideal para la inseminación y reconocer animales con problemas reproductivos, los sensores, incorporados en dispositivos de monitoreo, facilitan un seguimiento constante en tiempo real de factores como la temperatura, la actividad y el comportamiento de los animales, lo que permite intervenciones más oportunas y exactas (Cordovilla Serrano, 2024).

La combinación de IA y sensores no solo optimiza la efectividad de las técnicas reproductivas actuales, sino que también contribuye a la reducción de costos operativos, mejora las tasas de fertilidad y favorece un manejo más sostenible del ganado, la integración tecnológica proporciona a los productores datos concretos para tomar decisiones más informadas, resultando en un aumento significativo en la productividad y la salud del ganado (Cordovilla Serrano, 2024).

Capítulo 4. Factores técnicos, económicos y ambientales en la aplicación de biotecnologías reproductivas

4.1. Condición corporal en la inducción y sincronización estral

La condición corporal (CC) es un indicador clave del estado nutricional de la vaca y tiene un impacto significativo en su fertilidad, si la vaca mantiene una buena CC antes y después del parto, aumenta su fertilidad y se gestará más rápido, se ha encontrado que una buena CC está relacionada con mayores concentraciones de hormonas como el factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1 (IGF-1), leptina e insulina, lo que favorece el reinicio temprano de la actividad estral después del parto (Rosete Fernández, et al., 2024).

Por otro lado, cuando la CC es baja (menos de 6.0 en una escala de 1 a 9), se observan menores concentraciones de insulina e IGF-1 en sangre, lo que reduce la respuesta a la inducción del celo postparto en vacas de carne, aunque no afecta los niveles de leptina, por lo tanto, para mejorar la sincronización y aumentar las posibilidades de gestación, es crucial que las vacas que van a ser sincronizadas y emparejadas tengan una CC adecuada (al menos 6.0), favoreciendo la aparición de estros y la concepción (Gómez & Soto 2024).

Mantener una buena condición corporal es esencial para asegurar que las vacas se reproduzcan eficientemente después del parto, favorece el equilibrio hormonal necesario para la activación temprana del ciclo estral y la mejora en las tasas de fertilidad, si la vaca está en mal estado nutricional, su capacidad de respuesta a los tratamientos reproductivos se ve afectada, reduciendo las probabilidades de éxito en la concepción (Rosete Fernández, et al., 2024).

4.2 Costos y rentabilidad de las técnicas reproductivas

En Colombia, las técnicas reproductivas en bovinos juegan un papel crucial en la mejora de la productividad ganadera, pero su implementación también conlleva una serie de costos y desafíos que los productores deben tener en cuenta, tecnologías como la inseminación artificial, la sincronización de celo, la manipulación genética y la clonación, aunque ofrecen grandes beneficios en términos de eficiencia y calidad genética, requieren inversiones iniciales sustanciales en equipamiento, capacitación y materiales, el monitoreo constante y el manejo adecuado de los animales exigen costos adicionales en mano de obra y tecnología (Quistial Arcos, 2023).

No obstante, cuando se gestionan correctamente, estas técnicas pueden generar una rentabilidad significativa a largo plazo, la mejora en las tasas de concepción, la optimización del ciclo reproductivo y la mejora genética del ganado contribuyen a una mayor producción de carne y leche, lo que se traduce en mayores ingresos para los productores, la rentabilidad de las técnicas reproductivas en Colombia está sujeta a varios factores, como la capacidad de los ganaderos para equilibrar los costos de inversión tecnológica con la producción obtenida. (Quistial Arcos, 2023).

Por otro lado, existen algunas desventajas que pueden limitar la efectividad de estas técnicas, como lo son los altos costos iniciales de implementación, que pueden ser una barrera para los pequeños y medianos productores, dependencia de tecnologías avanzadas requiere capacitación especializada y personal calificado, lo que puede aumentar los costos operativos el riesgo de que las técnicas reproductivas no siempre tengan éxito debido a factores como el manejo inapropiado, enfermedades reproductivas o condiciones ambientales desfavorables, lo que podría llevar a una menor rentabilidad de lo esperado y generar resistencia en algunos

sectores del mercado ganadero, especialmente en zonas donde el acceso a estas innovaciones es limitado (Quistial Arcos, 2023)

4.3 Impacto ambiental y ética animal dentro de las técnicas de reproducción bovina

El impacto ambiental y la ética animal son dos aspectos clave que deben ser considerados en el uso de las técnicas de reproducción bovina, dado que estas prácticas tienen implicaciones tanto para el bienestar de los animales como para el entorno en el que se desarrollan, la aplicación de tecnologías avanzadas como la inseminación artificial, manipulación genética y la sincronización de celo ha permitido a la industria ganadera mejorar la productividad y eficiencia de la reproducción en el ganado, lo que contribuye a satisfacer la creciente demanda de alimentos, pero dichas técnicas no están exentas de controversias, ya que su implementación genera preocupaciones sobre su impacto ambiental y las implicaciones éticas relacionadas con el trato hacia los animales (Besenfelder, et al., 2020).

Desde el punto de vista ambiental, las técnicas de reproducción bovina tienen un doble impacto, por un lado, la mejora en la eficiencia reproductiva y genética puede contribuir a una mayor producción de carne y leche, lo que podría ayudar a reducir la presión sobre los recursos naturales, al optimizar la producción con un número menor de animales, que a su vez, puede reducir la huella de carbono de la industria ganadera, un sector que es uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero, el uso excesivo de estas técnicas también puede generar impactos negativos, como el aumento de la intensidad en la producción ganadera, lo que podría intensificar problemas ambientales como la deforestación, el uso indiscriminado de antibióticos, la contaminación del agua y la emisión de gases contaminantes debido a la concentración de animales en áreas específicas (Voisine & Sirard, 2021).

La ética animal, plantea diversas interrogantes sobre el bienestar de los animales involucrados, por ejemplo, la manipulación genética y la clonación pueden ser vistas como intervenciones invasivas que alteran el curso natural de la vida del ganado, proceso de clonación, en particular, ha sido objeto de críticas debido a los altos índices de fallos reproductivos, malformaciones y sufrimiento en los animales clonados, lo que genera preocupaciones sobre la calidad de vida y el bienestar de los mismos, la inseminación artificial, aunque menos invasiva, aún plantea cuestiones éticas sobre la cantidad de intervenciones humanas en los procesos reproductivos de los animales, cuestionando si estas prácticas respetan su autonomía y sus necesidades naturales (Herlin, et al., 2021).

Además, las implicaciones éticas se extienden a la selección genética, ya que la preferencia por ciertos rasgos, como la mayor producción de leche o carne, puede llevar a la creación de animales que, aunque sean más productivos, pueden enfrentar problemas de salud relacionados con su genética modificada, el bienestar de estos animales se ve comprometido si las técnicas reproductivas no se manejan de manera responsable, priorizando la salud y el confort de los mismos (Voisine & Sirard, 2021).

En este contexto, la integración de las preocupaciones éticas y ambientales en la aplicación de las técnicas reproductivas bovinas es fundamental, ya que las políticas y prácticas ganaderas deben equilibrar la necesidad de optimizar la productividad con la responsabilidad hacia el medio ambiente y el respeto por los derechos de los animales, la adopción de enfoques sostenibles, junto con un manejo ético que considere el bienestar de los animales, son esenciales para asegurar que las innovaciones en reproducción bovina no solo sean productivas, sino también responsables y respetuosas con el entorno y los seres vivos involucrados (Besenfelder, et al., 2020).

Capítulo 5. Comparación técnica entre biotecnologías reproductivas aplicadas

La fertilización de embriones en técnicas *in vitro* se asocia a que los ovocitos recuperados son filtrados con solución salina tamponada y suero fetal bovino antes de la maduración *in vitro* (MIV), durante la MIV, los complejos de cúmulo de oocitos (COC) son lavados en medios suplementados con hormonas y antibióticos, y tras la maduración, se procede a la fertilización *in vitro* (FIV) utilizando semen separado y centrifugado para obtener una concentración adecuada de espermatozoides viables. La FIV se realiza durante 18 horas en condiciones controladas. Posteriormente, los embriones se cultivan en medio especializado durante 5 a 8 días y se transfieren a vacas receptoras, solo los embriones de grado I o II se consideran para la transferencia, y la calidad embrionaria se evalúa según criterios como la cantidad de células y la expresión genética (Leon, et al., 2021)

El proceso de recuperación de ovocitos, maduración *in vitro* (MIV), fertilización *in vitro* (FIV) y transferencia de embriones presenta varias ventajas reproductivas para las vacas, donde mejora la eficiencia reproductiva al incrementar el número de embriones sin depender de la concepción natural, supera las limitaciones reproductivas, siendo útil para vacas con problemas reproductivos, vacas de descarte o incluso animales jóvenes, facilita la mejora genética del rebaño al seleccionar los mejores ejemplares para la donación de ovocitos, lo que acelera la mejora genética y brinda mayor control sobre el proceso reproductivo y favorece la diversificación genética, optimizando costos y mejorando la eficiencia ganadera (Salgado-Cruz & Lopera-Vásquez, 2020).

Los programas de conservación ex situ, como los bancos de germoplasma, desempeñan un papel fundamental en la preservación de la variabilidad genética de las razas bovinas, al almacenar semen, óvulos y embriones de razas tanto autóctonas como comerciales para ser utilizados en futuros programas de cría, estos bancos aseguran que las líneas genéticas estén disponibles para adaptarse a nuevas condiciones productivas, las iniciativas de cría in situ, que promueven el manejo controlado de razas locales en su entorno natural, no solo conservan sus características adaptativas, sino que también brindan apoyo a las comunidades rurales que dependen de estas razas para su sustento (FAO, 2022).

Los sistemas MOET (Transferencia de Embriones de Ovulación Controlada) y OPU/FIV (Obtención de Ovocitos y Fertilización In Vitro) son técnicas reproductivas utilizadas en ganado bovino, pero tienen diferencias significativas en su implementación y resultados, en el sistema MOET, la vaca donante es sometida a tratamientos hormonales para obtener más de un embrión, lo que genera aproximadamente 30 embriones por vaca al año. Sin embargo, este método no se puede aplicar a animales jóvenes, mayores de 10 años, con enfermedades reproductivas, en descarte o en gestación y se utiliza de 4 a 5 veces por año (Toledo Gómez, 2020)

En contraste, en la técnica OPU/FIV, no es necesario el uso de hormonas para obtener los ovocitos, lo que permite obtener más de 160 embriones por vaca al año, técnica que se puede aplicar a una gama más amplia de animales, incluyendo vacas jóvenes (a partir de los 6 meses), mayores de 10 años, animales de descarte y en gestación hasta el primer tercio, y se puede realizar de 2 veces por semana durante un periodo de 3 a 6 meses (Meza, et al., 2023).

En cuanto a los resultados, la OPU/FIV presenta mejores resultados en ganado Bos indicus, mientras que MOET es más efectiva en Bos Taurus (Toledo Gómez, 2020)

El costo de la técnica MOET es más alto, oscilando entre 1.600.000 y 2.000.000 de pesos colombianos por vaca, mientras que la técnica OPU/FIV tiene un costo más bajo, entre 650.000 y 1.000.000 de pesos colombianos por vaca, a pesar de las diferencias, ambos métodos comparten un trasfondo biológico similar, por lo que se espera una alta correlación en los resultados de la cantidad de óvulos y embriones obtenidos (Aldana Sánchez & Pinilla Quiroga, 2021).

Las técnicas MOET y OPU/FIV son dos métodos avanzados para mejorar la reproducción en bovinos, pero tienen diferencias clave tanto en su aplicación como en los resultados obtenidos, donde MOET requiere tratamientos hormonales y está restringido por la edad y la condición de la vaca donante, mientras que OPU/FIV es más flexible y puede aplicarse a una mayor variedad de animales, incluyendo los de menor o mayor edad, e incluso en gestación en las primeras etapas (Meza, et al., 2023).

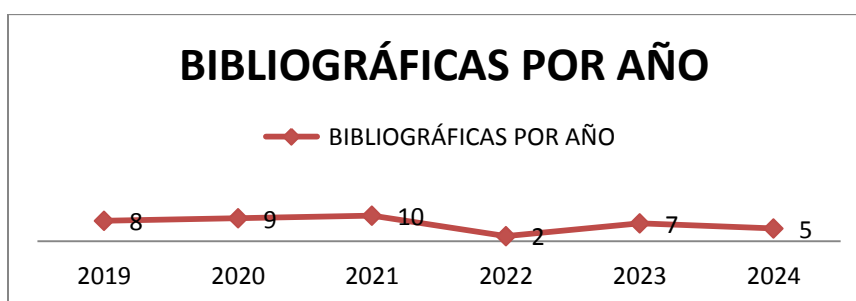
OPU/FIV, aunque más accesible en términos de costos y con un mayor número de embriones por vaca, tiene una mayor aplicabilidad en razas Bos indicus, es decir que en términos de costos, OPU/FIV es considerablemente más económica que MOET, lo que puede ser un factor decisivo para los productores en función de sus necesidades y capacidades económicas, ambas técnicas se complementan en la mejora genética del ganado, aunque la elección de una u otra dependerá de factores como la edad, la condición de los animales y los recursos disponibles. (Aldana Sánchez & Pinilla Quiroga, 2021).

Capítulo 6. Resultados

Los resultados de la revisión documental abarcan el periodo comprendido entre los años 2019 y 2024, con énfasis en investigaciones publicadas entre 2019 y 2023, años en los que se concentra el mayor número de referencias utilizadas, en total, se recopilaron 41 fuentes bibliográficas, de las cuales 34 están redactadas en español y 11 en inglés, como se ilustra en la *Figura 5*.

Figura 4

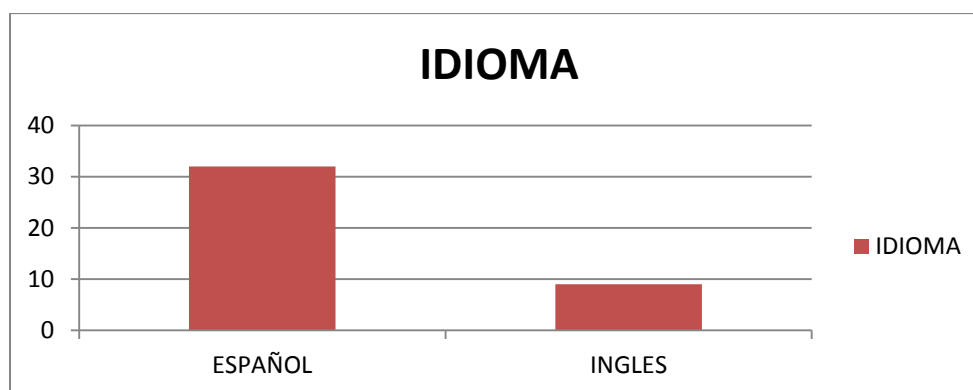
Bibliográficas por año



Nota. Se obtuvieron un número de 41 citas bibliográficas representadas

Figura 5

Idioma español-ingles

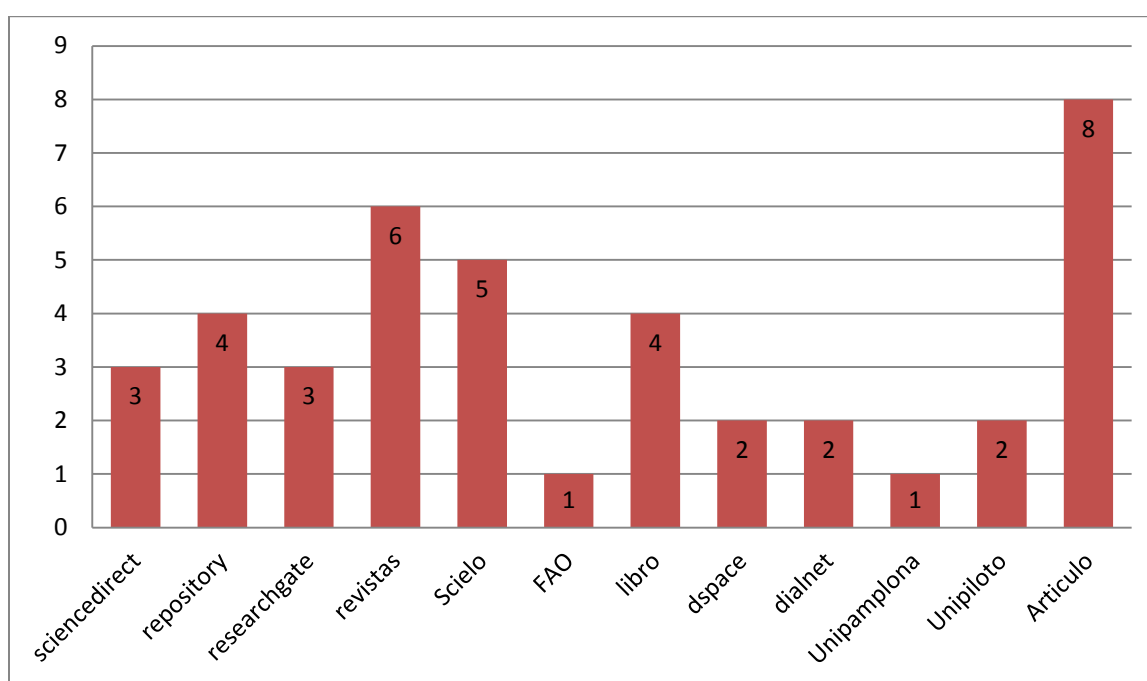


Nota. Idioma ingles con un número de 9 el restante que es el 32 en español.

La selección bibliográfica priorizó documentos científicos recientes y relevantes, particularmente estudios aplicados, revisiones técnicas y tesis académicas sobre biotecnologías reproductivas en bovinos, se emplearon 12 fuentes de búsqueda diferentes, clasificadas en la *Figura 6*, que incluyen bases de datos académicas, repositorios institucionales y artículos indexados.

Figura 6

Páginas web tomadas



Nota. 12 páginas de las cuales Artículo destaco sobre las otro sobre 9

A través de un proceso riguroso de recopilación, categorización, análisis y síntesis de la información, se construyó un marco teórico robusto que sustenta el análisis metodológico de las técnicas más usadas en la reproducción bovina, esta sistematización permitió desarrollar una descripción clara, técnica y argumentada de los procedimientos aplicados, sus ventajas, limitaciones y potencial en el contexto ganadero.

Capítulo 7. Conclusiones

Las técnicas de reproducción bovina asistida analizadas en esta monografía representan una herramienta estratégica para el mejoramiento genético y reproductivo del ganado, su aplicación adecuada permite superar limitaciones biológicas naturales, aumentar la tasa de preñez, optimizar el uso del material genético y mejorar la rentabilidad productiva.

Sin embargo, su éxito depende de múltiples factores: la capacitación técnica, la selección adecuada de animales, el manejo zootécnico, y un enfoque ético y ambientalmente responsable, en el caso colombiano, la adopción progresiva de estas biotecnologías debe acompañarse de políticas de fomento, inversión en innovación, y formación continua de los productores, para que estas técnicas puedan integrarse efectivamente en sistemas productivos tanto intensivos como de pequeña escala.

Finalmente, es esencial continuar evaluando la sostenibilidad de estas técnicas a largo plazo, considerando no solo los beneficios productivos, sino también sus implicaciones sociales, ambientales y bioéticas.

Referencias

- Aguilar, M. J. (2019). Evaluación del método de ultrasonografía sobre la detección de preñez en un protocolo de IATF en ganado de carne (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2019.).
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6534/1/CPA-2019-T003.pdf>
- Aguilar, M. J. (2019). Evaluación del método de ultrasonografía sobre la detección de preñez en un protocolo de IATF en ganado de carne (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2019.).
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6534/1/CPA-2019-T003.pdf>
- Albuja Valdivieso, M. P. (2024). "Efecto de la adición de progesterona inyectable a un protocolo de sincronización de celo en vacas multíparas en anestro" (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum). <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6259>
- Aldana Sánchez, B., & Pinilla Quiroga, L. (2021). Técnicas de biotecnología reproductiva para obtención de embriones bovinos. <https://repository.ucc.edu.co/items/2c946231-4192-4751-a979-df3c7169a01c>
- Apolo Guaycha, J. A. (2023). Evaluación del uso de la hormona progesterona post inseminación para disminuir la pérdida gestacional en vacas Jersey (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023). <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/15104>
- Benavides, Á. R. A. (2020). Estrategia para mejorar la tasa de servicio y la subsecuente tasa de preñez en vacas, utilizando la técnica de ultrasonografía. *Tierra Infinita*, 6(1), 20-28.
<https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/view/1028>
- Besenfelder, U., Brem, G., & Havlicek, V. (2020). Environmental impact on early embryonic development in the bovine species. *Animal*, 14(S1), s103-s112.

<https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/review-environmental-impact-on-early-embryonic-development-in-the-bovine-species/B90AE35BB11F4C6FEC28E90ED031EAD3>

Bustillo Parrado, J. C., & Melo Colina, J. A. (2020). Parámetros reproductivos y eficiencia reproductiva en ganado bovino. <https://repository.ucc.edu.co/items/891bc43b-4d83-4055-adff-aff7f83f603c>

Campo, D. (2019). Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. Revista colombiana de ciencia animal recia, 11(1), 80-89.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2027-42972019000100080&script=sci_arttext

Caraballo García, G. P. (2023). Análisis de las oportunidades en la adopción de técnicas reproductivas canadienses, para la mejora del hato bovino colombiano. Citado de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/393>

Carvajal, A., Martínez, E., Tapia, M., & Ayke, I. T. (2020). El ciclo estral en la hembra bovina y su importancia productiva. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 246, 1-4.
https://www.researchgate.net/profile/Andres-Carvajal-4/publication/344452990_El_ciclo_estral_en_la_hembra_bovina_y_su_importancia_productiva/links/63401aef2752e45ef69de546/El-ciclo-estral-en-la-hembra-bovina-y-su-importancia-productiva.pdf

Chauca Guamán, J. E. (2024). Estimulación folicular con FSH recombinante bovina previo a la opu en vacas Holstein. <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstreams/fd6beadb-41af-4c38-b689-e69c1a258d8f/download>

Chuga, W., Martinez, R., Ceron, S., Jativa, D., Chamorro, B., Chiran, G., . . . Proaño, M. (2020). Transferencia de embriones en bovinos en la Provincia de Carchi. Sathiri sembrador,

- 16(2), 98-106. <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/1075>
- Cordovilla Serrano, M. (2024). Desarrollo de plataforma para monitorización de ganado con Inteligencia Artificial. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/34019>
- De La Hoz, P. (2019). Análisis reproductivo y productivo de tres sistemas de producción bovino del municipio de el Piñón, Magdalena. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5888>
- FAO. (2022). Status and trends of animal genetic resources. Food and Agriculture Organization <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c8121641-5385-404f-bf98-6a584bec2e7b/content>
- Ferré, L. B., Kjelland, M. E., Strøbech, L. B., Hyttel, P., Mermillod, P., & Ross, P. J. (2020). Recent advances in bovine in vitro embryo production: reproductive biotechnology history and methods. *Animal*, 14(5), 991-1004. <https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/review-recent-advances-in-bovine-in-vitro-embryo-production-reproductive-biotechnology-history-and-methods/4C4A7C008A6014ADBFDECCFED12FAE13>
- Gálvez Pradillo, J. (2019). Factores pronósticos en FIV. Proyecto de investigación: <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/75841>
- Gomez, L. M., Rodríguez-Lecompte, J. C., & Olivera-Angel, M. (2020). 7. Respuesta inmune innata de la glándula mamaria. Fondo Editorial Biogénesis, 89-104. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/download/342152/20802571/>
- Gómez, M. V., & Soto, A. T. (2024). Sincronización de celos e inducción de la ovulación. Libros de Cátedra. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/169419>
- Gutiérrez-Reinoso, MA, Aponte, PM, y García-Herreros, M. (2021). Análisis genómico, avances

- y perspectivas futuras en la selección de ganado lechero: una revisión. *Animals* , 11 (3), 599. <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/3/599>
- Herlin, A., Brunberg, E., Hultgren, J., Högberg, N., Rydberg, A., & Skarin, A. (2021). Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. *Animals*, 11(3), 829. <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/3/829>
- Jabbar, A., Zulfiqar, F., Mahnoor, M., Mushtaq, N., Zaman, M. H., Din, A. S. U., ... & Ahmad, H. I. (2021). Advances and Perspectives in the Application of CRISPR-Cas9 in Livestock. *Molecular Biotechnology*, 63(9), 757-767. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12033-021-00347-2>
- Leon, L. B., Trujillo, D. B., & Domínguez, R. G. G. (2021). Producción de embriones bovinos del laboratorio INVITRO COLOMBIA durante el año 2019. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 5(1),6-16. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/4242>
- Leyton, F. (2019). Los animales en la bioética: tensión en las fronteras del antropocentrismo. Herder Editorial. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=laGMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=interrogantes+sobre+el+uso+de+las+biotecnolog%C3%ADas+ganaderas+en+los+pa%C3%ADses+en+desarrollo,+relacionadas+con+cu%C3%A1n+extendido+est%C3%A1+el+uso+de+las+mismas+en+estos+pa%C3%ADses,+c&ots=SzcO_tf0J&sig=4foQuwG4BWbdOAMMhdDhje8zI6I
- Martínez, V. O. C. (2019). MANEJO DE UN SISTEMA DE MONTA ESTACIONAL EN LA HACIENDA EL TRANQUERO EN EL DEPARTAMENTO DE CASANARE– COLOMBIA (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Córdoba).

<https://iracbiogen.com/wp-content/uploads/2021/06/Manejo-de-un-sistema-de-monta-estacional-en-la-hacienda-el-tranquero-en-el-departamento-de-casanare-Colombia-Castaneda.pdf>

Medina Céspedes, F. L., & Tovar Olmos, L. M. (2021). Desarrollo y regulación genética en embriones tempranos bovinos. <https://repository.ucc.edu.co/items/9d1fb3b8-83f2-45de8f5a-5b69ce6790fb>

Meza, F. J. T., De Souza, J. F., Hilario, J. R., Reyes, H. D. A., Perales, A. R., Magaña, F. A. L., & González-Reyna, A. (2023). La biotecnología de la reproducción en bovinos de carne y su aplicación en el Noreste de México: Aspiración folicular y fecundación in vitro. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 31(Suplemento), 383-388.
http://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/3239

Mrode, R., Ojango, J. M. K., Okeyo, A. M., & Mwacharo, J. M. (2019). Genomic selection and use of molecular tools in breeding programs for indigenous and crossbred cattle in developing countries: Current status and future prospects. *Frontiers in genetics*, 9, 694.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2018.00694/full>

Nogueira, B. G. R., de Souza, L. F. A., Puelker, R. Z., Giometti, I. C., Firetti, S. M. G., Dias, T. S. D. S. B., & Castilho, C. (2021). Factors affecting the in vitro production of bovine embryos in a commercial program. *Research, Society and Development*, 10(2), e16110212264-e16110212264. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12264>

Ortega–Ante, D. A. (2020). Enfoque de la Biotecnología Industrial en Ecuador y la Provincia de Esmeraldas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 1219-1227.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?Codigo=7554325>

Quistial Arcos, M. C. (2023). Estimación del índice de mérito total del programa de

mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche de la parroquia Aláquez.

<https://repositorio.utc.edu.ec/items/036fdb7a-bb70-4420-97b4-d4433bbaf51f>

Rizzo Jordán, K. J. (2023). La transferencia de embriones para el mejoramiento genético en Ganado Bovino (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023).

<http://190.15.129.146/handle/49000/14962>

Roa-Prieto, K. S., & Rojas-Scarpetta, L. C. (2019). Sistema electrónico para el monitoreo de bovinos hembra en su ciclo estral. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24030>

Rosete Fernández, J. V., Álvarez Gallardo, H., Urbán Duarte, D., Fragoso Islas, A., Asprón Pelayo, M. A., Ríos Utrera, Á., ... & Torre Sánchez, J. F. D. L. (2021). Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12, 39-78.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242021000500004&script=sci_arttext

Rosete Fernández, J. V., Fragoso Islas, A., Santos Echeverría, R., & Ríos Utrera, Á. (2024). Inducción de la ovulación con Kisspeptina-10 en un protocolo de sincronización estral en vacas. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1).

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212024000100024&script=sci_arttext

Salgado-Cruz, E., & Lopera-Vásquez, R. (2020). Aspectos esenciales sobre las técnicas de fertilización in vitro en bovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172020000300003&script=sci_arttext&tlng=pt

Sánchez Calabuig, M. J., Blanco Murcia, J., Moreno Gonzalo, J., Fominaya, H., Zanitoni, M., Serres Dalmau, C., ... & Mejías López, E. (2023). Modelo docente de palpación del

aparato reproductor en bovino como alternativa al uso de materiales de prácticas blanco.

<https://docta.ucm.es/bitstreams/21227d5b-4230-4869-b8fc-0f509fc85d55/download>

Sanchez Gamarra, K. T. (2023). Evaluación de un protocolo de sincronización de celo e inseminación artificial a tiempo fijo con proestro extendido en un grupo de vacas y vaquillas criadas en la Cuenca de Huatanay.

<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7435>

Toledo Gómez, A. D. P. (2020). Evaluación de la aspiración folicular sucesiva en hembras bovinas de la raza Brangus. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/53226>

Van Eenennaam, A. L., De Figueiredo Silva, F., Trott, J. F., & Zilberman, D. (2021). Genetic engineering of livestock: the opportunity cost of regulatory delay. *Annual Review of Animal Biosciences*, 9(1), 453-478.

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-animal-061220-023052>

Villarroel Herbas, J. A. (2022). COMPORTAMIENTO DE PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y PRODUCTIVOS.

<http://atlas.umss.edu.bo/handle/123456789/27796>

Voisine, J., & Sirard, M. A. (2021). Ethics and animal reproductive technologies. *Reproduction, Fertility and Development*, 34(2), 214-233. <https://www.publish.csiro.au/rd/rd21284>